

Ciencias e Ingeniería

PARA CIUDADANOS

Revista de investigación científica



Lima - Perú

Ciencias e Ingeniería



Volumen I-N°2 Agosto 2025

Consejo Editorial

Director

Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas

Editor, diseño y traducción

Bach. Carlos Alberto Vega Vidal

Diagramador de texto y asistencia de diseño

Bach. Carlos Alberto Vega Vidal

Comité Científico

Dra. Elena Rafaela Benavides Rivera
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Lima-Perú

Dra. Ysabel Zevallos Parave
Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle.
Lima-Perú

Dr. Óscar Rafael Tinoco Gómez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Lima-Perú

Índice

Introducción	7
---------------------------	----------

Innovaciones en el control de calidad de la fibra de alpaca: el rol de la inteligencia artificial	8
--	----------

Daniela Angelly Apaza Ricra
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
César Arturo Huanca García
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Análisis de la aplicación de inteligencia artificial para mejorar el control de calidad del arándano	22
---	-----------

Bruce Isaías Mejía Cruz
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Sr. Jonathan Alfredo Paredes Laura
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Optimización y personalización de la experiencia: el rol de la inteligencia artificial en negocios digitales	51
---	-----------

Srta. Karen Sugeily Delgado Torres
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: karen.delgado@unmsm.edu.pe

El uso de la inteligencia artificial para mejorar la experiencia de compra online en el sector retail en Latinoamérica.....	77
--	-----------

Ing. Hillary Melissa Guerra Puican
Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú
Ing. Víctor Hugo Ramírez Rodrigo
Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

Aplicación de herramientas de innovación tecnológica para la mejora del control de calidad en la línea de cosméticos en el mercado102

Srta. María del Carmen Pereda Quispe
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Ibsen Ximena Condori Adco
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Evaluación del uso de machine learning para la calidad en la producción de acero: revisión sistemática.....115

Lionel Tito Lázaro
Universidad Tecnológica del Perú
Srta. Marisol Yeni López Condori
Universidad Tecnológica del Perú

Aplicación de machine learning y visión por computadora en sistemas automatizados para la optimización del control de calidad en envases de hojalata143

Luis Alejandro Mamani Garnique
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Pedro Antonio Velásquez Córdova
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Optimización de la cadena de suministro utilizando inteligencia artificial: revisión sistemática de literatura161

José Steve Puma Núñez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Kevin Anthony Castro Vásquez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Johnny Anthony Aliaga Campó
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Credenciales de sostenibilidad en la cadena de suministros de alimentos: evaluación del impacto de blockchain en trazabilidad179

Diana Elizabeth Mariño Alarcón
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Alan Enrique Pisconte Campos
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

El fortalecimiento de la selección de proveedores en una empresa: una mirada hacia las nuevas prácticas mundiales relacionadas al avance tecnológico.....205

Danny Guzmán Gálvez

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Pedro Paredes Mellizo

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Introducción

Los tiempos cambian y con él las ciencias y las tecnologías, donde la ciencia trata de entender y comprender la realidad, y por medio del método científico, busca una respuesta a las hipótesis que surgen de la realidad que quiere entender, explicando desde el punto de vista de la teoría, los fenómenos y tratar de comprenderlos.

Podríamos tener una visión menos epistemológica de la ciencia, donde ella nos permita desenmascarar la realidad, la realidad del mundo que nos rodea, tanto de los seres vivos (la biología), de los materiales y componentes que conforman la tierra y de sus combinaciones (física, química, geología, etc), de los cálculos y probabilidades (la matemática y todas sus ramas), de los movimientos de nuestro planeta y del espacio exterior (astronomía y astrofísica). Todo este conjunto de conocimientos nos da una idea general de como funciona el mundo, y da respuestas a nuestras preguntas, a ese esquivo ¿Por qué? que es tan importante en la filosofía occidental.

Estas preguntas surgen fundamentalmente de una base material, de la continua interacción del hombre con su entorno, y las respuestas que nos da la ciencia por medio del método científico son esenciales para la supervivencia del ser humano, ya que de ellas depende la agricultura, la medicina, la arquitectura, el comercio, la producción, y el trabajo.

La aplicación de estas respuestas en técnicas que permitan resolver los problemas de nuestra especie, las realiza la ingeniería, que aplica la técnica de lo "descubierto" por la ciencia, creando ingenios, técnicas, herramientas que resuelven los problemas cotidianos y otorgan bienestar a nuestra comunidad y sociedad.

Existe entre ciencia e ingeniería una relación dual y dialéctica, en continuo dinamismo, una responde y cuantifica, la otra aplica y resuelve en un círculo virtuoso que se ve plasmado en los avances técnicos y el bienestar en la comunidad, nuestra nueva revista Ciencias e Ingeniería muestra al lector y público en general el resultado de esta provechosa interacción

En este segundo número presentamos desde el punto de vista de diferentes disciplinas, como la inteligencia artificial está ayudando a solucionar problemas que se presentan tanto en la industria, la agricultura, los negocios, la alimentación y el comercio, y como la aplicación de las soluciones que genera, logra resolver y automatizar los procesos y resultados. Estamos ante un nuevo panorama, un cambio en la manera de como la tecnología viene transformando nuestra vida, tanto en el campo económico y tecnológico, y en lo social y cultural. Las investigaciones presentadas nos muestran los cambios que se aproximan, o que ya estamos viviendo.

Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas
Director

Bach. Carlos Alberto Vega Vidal
Editor

Innovaciones en el control de calidad de la fibra de alpaca: el rol de la inteligencia artificial

Srta. Daniela Angelly Apaza Ricra
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: daniela.apaza@unmsm.edu.pe

Sr. César Arturo Huanca García
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: cesar.huanca@unmsm.edu.pe

Resumen: El presente artículo aborda las innovaciones en el control de calidad de la fibra de alpaca mediante el uso de herramientas de inteligencia artificial (IA). En el contexto de una creciente demanda en mercados internacionales, se analizan las limitaciones de los métodos tradicionales, como los errores humanos y la ineficiencia, y se propone la integración de tecnologías avanzadas. A través de un enfoque teórico, se revisan las características clave que determinan la calidad de la fibra, tales como diámetro, longitud y peso del vellón, y se destacan las aplicaciones más prometedoras de la IA en la industria textil, garantizando un producto final competitivo y sostenible.

Palabras claves: Control de calidad/ Fibra de alpaca/ Inteligencia artificial/ Diámetro de fibra/ RSL.

Abstract: This article explores innovations in the quality control of alpaca fiber using artificial intelligence (AI) tools. Against the backdrop of growing demand in international markets, it examines the limitations of traditional methods, such as human errors and inefficiency, and proposes the integration of advanced technologies. Through a theoretical approach, key characteristics determining fiber quality, including diameter, length, and fleece weight, are reviewed. Promising AI applications in the textile industry are highlighted, ensuring a competitive and sustainable final product.

Keywords: Quality control/ Alpaca fiber/ Artificial intelligence/ Fiber diameter/ RSL.

Résumé: Cet article examine les innovations dans le contrôle de qualité de la fibre d'alpaga grâce à l'utilisation d'outils d'intelligence artificielle (IA). Dans un contexte de demande croissante sur les marchés internationaux, il analyse les limites des méthodes traditionnelles, telles que les erreurs humaines et l'inefficacité, et propose l'intégration de technologies avancées. À travers une approche théorique, les caractéristiques clés qui déterminent la qualité de la fibre, telles que le diamètre, la longueur et le poids de la toison, sont passées en revue. Les applications prometteuses de l'IA dans l'industrie textile sont mises en lumière, garantissant un produit final compétitif et durable.

Mots-clés: Contrôle qualité/ Fibre d'alpaga/ Intelligence artificielle/ Diamètre de fibre/ RSL.

1. Introducción

La demanda de la fibra de alpaca, atraviesa un incremento considerable en los principales mercados internacionales, debido a su alta aceptación en la industria textil global. (1) El diámetro de la fibra, el peso del vellón, el nivel de confort y la finura al momento de hilado son las principales características valoradas tanto comercialmente como en el proceso de manufactura, (2). Aunque la comercialización generalmente se basa en el peso del vellón, algunas empresas ofrecen incentivos adicionales por la fibra de alpaca de menor diámetro, siendo esto último lo que determina su finura (3). La medición del diámetro de la fibra de alpaca es costosa y carece de métodos accesibles, afectando especialmente a los pequeños productores. A menudo, las muestras deben enviarse a laboratorios especializados o se recurre a evaluaciones visuales, lo que limita la clasificación precisa de las fibras. Esta situación debilita al sector alpaquero, dificultando el aprovechamiento de oportunidades de desarrollo (4). Ante este panorama, la inteligencia artificial (IA) surge como una alternativa innovadora para superar estas barreras. Su implementación puede transformar la forma en que se evalúan características clave de la fibra, como el diámetro, la longitud y el peso del vellón, mejorando la precisión y reduciendo los costos y tiempos asociados al proceso.

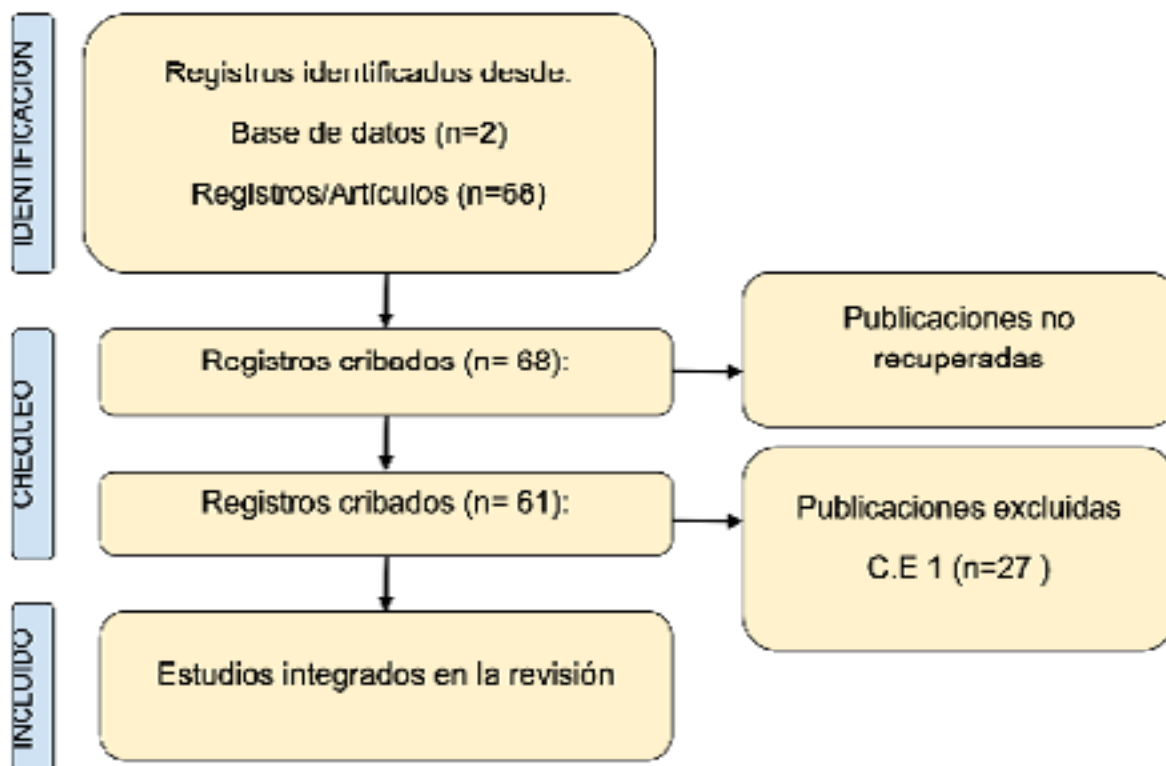
Este artículo tiene como objetivo general evaluar el impacto de la IA en el control de calidad de la fibra de alpaca, abordando los desafíos actuales, identificando herramientas aplicables, explorando estrategias de implementación y analizando las proyecciones futuras de estas tecnologías. A través de esta investigación, se busca ofrecer una perspectiva integral sobre cómo la integración de la IA puede modernizar el sector alpaquero, promoviendo su desarrollo sostenible y fortaleciendo su posición en la industria textil mundial.

2. Método

Para cumplir con el objetivo propuesto, se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura (RSL) enfocada en el periodo 2017-2024, con el fin de analizar las metodologías de mejora continua aplicadas en la industria textil. Basándose en la declaración PRISMA, se desarrolló una estrategia estructurada que inició con la formulación de una pregunta de investigación orientada por el marco PIOC (Problema, Intervención, Resultados, Contexto), para guiar eficazmente la selección y análisis de estudios pertinentes. La pregunta principal de la investigación fue: "¿Cómo mejora la IA el control de calidad de la fibra de alpaca?". Este planteamiento dirigió la identificación de términos clave, que unidos con los operadores booleanos, permitieron la estructuración de una ecuación de búsqueda: (TÍTULO-ABS-CLAVE (alpaca Y fibra) Y TODO (calidad Y control)) Y PUBYEAR > 2017. (SCOPUS), (fibra de alpaca) AND (calidad) AND (inteligencia artificial) OR (red neuronal) AND NOT (year_cluster:(2018)) (SCIELO) La búsqueda se realizó

en la base de datos Scopus en septiembre-octubre de 2024. Se aplicaron los filtros de tiempo (2018-2024), y tipo de documento (Article y conference paper) , obteniendo un total de 68 entre las tres bases de datos. Para la filtración y selección se establecieron los siguientes criterios de selección:

- **Criterios de inclusión:** (1) Estudios que aborden la implementación de herramientas de IA (2) Investigaciones publicadas en los últimos años (3) Artículos que describen mejoras medibles en la calidad de la fibra de alpaca
- **Criterios de exclusión (C.E):** (1) Estudios que incluyan las industrias cuyo enfoque no está relacionado con la calidad de la fibra de alpaca, (2) Publicaciones que se enfoquen únicamente en métodos tradicionales de control de calidad (3) Artículos de tipo revision de la literatura (4) Duplicidad de documentos.



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°1: Tabla de aportes

ARTÍCULO	TÍTULO	COMENTARIO
ART 1	Adaptación de inteligencia artificial por el modelo de regresión múltiple estocástica para determinar la calidad de la fibra de alpaca (Lama pacos)	Este artículo describe con precisión la aplicación de un modelo de regresión lineal múltiple para predecir la calidad de fibra de alpaca, destacando el uso de variables clave y el algoritmo de gradiente descendiente
ART 2	Densidad de fibras y densidad de conductos pilosos como criterios de selección para mejorar la calidad y el peso de vellones de alpacas	Este estudio busca identificar nuevos criterios de selección como la densidad de fibras y la relación fibras/conductos, para mejorar simultáneamente el peso de vellón y el diámetro de fibra en alpacas.
ART 3	Valores económicos relativos para caracteres de finura en fibra de alpacas de la región Puno	El estudio compara dos métodos para calcular pesos económicos relativos de caracteres de fibra en alpacas, resaltando que los resultados varían y no siempre coinciden como criterios de selección para la mejora.
ART 4	Características de calidad de la fibra de alpacas (Vicugna pacos). Como indicador de su comercialización	El estudio destaca las variaciones en la calidad de fibra entre comunidades de Cotopaxi, Ecuador, siendo Apahua la de mejor calidad, con menor diámetro, longitud y peso de vellón, favoreciendo su comercialización.
ART 5	La cadena de valor para optimizar la producción de fibra de alpaca en la empresa Sais Sollocota Ltda. N° 5 – Perú	El estudio analiza la situación del sector de alpacas en Puno, destacando la optimización de la producción y comercialización de fibra como claves para mejorar la rentabilidad en la empresa SAIS Sollocota.
ART 6	Evaluación de un método numérico de medición del diámetro de la fibra de alpaca	El estudio concluye que el método DIFDA es tan preciso como los métodos convencionales, siendo útil para la medición continua del diámetro de fibras en programas de mejoramiento animal.

ART 7	Características de la fibra de alpaca Huacaya de Cotaruse, Apurímac, Perú	El estudio destaca la influencia de edad, color y comunidad en las características de la fibra de alpaca, subrayando su potencial para mejoramiento genético y comercialización por su variabilidad y calidad.
ART 8	Características productivas y textiles de la fibra en alpacas Huacaya de Puno, Perú	El estudio muestra que la edad afecta significativamente el diámetro de fibra, la finura al hilado y el confort en alpacas Huacaya, mientras que el sexo y procedencia no influyen en estas características.
ART 9	Calidad de la fibra de alpacas Huacaya y Suri del plantel de reproductores de Ocongate, Cusco, Perú	El estudio revela diferencias significativas en características tecnológicas de la fibra de alpacas Huacaya y Suri, destacando la influencia de raza, sexo, edad y comunidad en la calidad y variabilidad genética.
ART 10	A deep learning approach to distance map generation applied to automatic fiber diameter computation from digital micrographs	El nuevo método basado en aprendizaje profundo mejora la medición del diámetro de fibras, superando las limitaciones de técnicas tradicionales, y promete transformar el control de calidad en la industria textil.
ART 11	Evaluación de la producción y calidad de fibra de alpaca Huacaya (Vicugna pacos) en la comunidad originaria Chacaltaya	La investigación sobre la fibra de alpaca Huacaya en Chacaltaya revela producción y calidad variables, destacando un diámetro medio adecuado, pero con un coeficiente de variación elevado y un factor confort bajo.
ART 12	Precisiones sobre el diámetro de fibra en alpacas de la región Puno, Perú	Este artículo subraya que el diámetro de la fibra es un factor determinante en la calidad del vellón de alpaca, directamente relacionado con la suavidad, apariencia y confort del producto textil final. También aporta importantes datos sobre la variabilidad del diámetro de la fibra en alpacas Huacaya de la región de Puno.

ART 13	Diagnóstico del proceso artesanal de producción de hilo de fibra de alpaca en Puno, Perú	Este análisis resalta una brecha clave entre los procesos artesanales e industriales en la producción de hilos de fibra de alpaca, especialmente en lo referente a la clasificación manual y el uso limitado de maquinaria en el ámbito artesanal.
ART 14	Características textiles de la fibra de alpacas suri de la feria ganadera del sur del Perú	El artículo ofrece una valiosa perspectiva sobre la calidad de esta fibra, fundamental en la industria textil de alta gama. Desde una perspectiva de control de calidad, el estudio es un ejemplo claro de cómo se deben implementar rigurosos controles para asegurar la consistencia y calidad de la fibra. El control del diámetro de la fibra y el factor de confort (FC) permiten asegurar que las prendas elaboradas con esta fibra brinden una experiencia cómoda y de alta calidad para los usuarios. Asimismo, el uso de herramientas tecnológicas, como el análisis mediante el equipo OFDA 2000, garantiza una evaluación precisa y científica de las propiedades de la fibra.
ART 15	Características productivas y textiles de la fibra de alpacas de raza Huacaya	El artículo enfatiza la importancia de aplicar programas de mejora genética para incrementar la calidad de la fibra y responde a la creciente demanda de fibras finas y homogéneas. También se hace referencia a la necesidad de evaluar la finura, la longitud de mecha y la resistencia a la tracción de las fibras, para asegurar que la fibra procesada cumpla con los estándares requeridos por la industria textil de lujo, lo que posiciona a la fibra de alpaca como una de las más valiosas en el mercado global

Fuente: Elaboración propia

3. Resultados

Los resultados se organizaron en dos secciones principales: primero, se realizó un análisis bibliométrico descriptivo de los estudios seleccionados, y luego se llevó a cabo un análisis exhaustivo de las características relevantes en relación con los objetivos de la revisión sistemática de la literatura (RSL)

Análisis bibliométrico descriptivo de artículos

Tabla N°2: Datos bibliométricos de los estudios seleccionados

ARTÍCULO	TÍTULO	AÑO DE PUBLICACIÓN	PAÍS	N° CITAS
ART 1	Adaptación de inteligencia artificial por el modelo de regresión múltiple estocástica para determinar la calidad de la fibra de alpaca (Lama pacos)	2023	PERÚ	0
ART 2	Densidad de fibras y densidad de conductos pilosos como criterios de selección para mejorar la calidad y el peso de vellones de alpacas	2023	PERÚ	0
ART 3	Valores económicos relativos para caracteres de finura en fibra de alpacas de la región Puno	2021	PERÚ	0
ART 4	Características de calidad de la fibra de alpacas (Vicugna pacos). Como indicador de su comercialización	2023	BOLIVIA	0
ART 5	La cadena de valor para optimizar la producción de fibra de alpaca en la empresa Sais Sollocota Ltda. N° 5 – Perú	2023	PERÚ	30

ART 6	Evaluación de un método numérico de medición del diámetro de la fibra de alpaca	2018	PERÚ	16
ART 7	Características de la fibra de alpaca Huacaya de Cotaruse, Apurímac, Perú	2018	PERÚ	8
ART 8	Características productivas y textiles de la fibra en alpacas Huacaya de Puno, Perú	2018	PERÚ	38
ART 9	Calidad de la fibra de alpacas Huacaya y Suri del plantel de reproductores de Ocongate, Cusco, Perú	2020	PERÚ	24
ART 10	A deep learning approach to distance map generation applied to automatic fiber diameter computation from digital micrographs	2024	PERÚ	17
ART 11	Evaluación de la producción y calidad de fibra de alpaca Huacaya (Vicugna pacos) en la comunidad originaria Chacaltaya	2023	BOLIVIA	0
ART 12	Precisiones sobre el diámetro de fibra en alpacas de la región Puno, Perú	2021	PERÚ	4
ART 13	Diagnóstico del proceso artesanal de producción de hilo de fibra de alpaca en Puno, Perú	2020	BOLIVIA	0

ART 14	Características textiles de la fibra de alpacas suri de la feria ganadera del sur del Perú	2023	CHILE	0
ART 15	Características productivas y textiles de la fibra de alpacas de raza Huacaya	2018	PERÚ	8

Fuente: Elaboración propia

De los 68 estudios identificados, 16 cumplieron con los criterios de inclusión, destacándose una alta concentración de publicaciones en Perú (60%), seguido de Bolivia y Chile. La mayoría de los estudios se publicaron entre 2018 y 2024, mostrando un interés creciente en la aplicación de inteligencia artificial (IA) en el sector textil.

En términos de impacto académico, el artículo "Características productivas y textiles de la fibra en alpacas Huacaya de Puno, Perú" (Quispe Peña et al., 2013) obtuvo el mayor número de citas (38), reflejando su relevancia en el campo.

Análisis de correlación entre los artículos

Un artículo realizado por (6) indica que la categorización de la fibra de alpaca se da por cada vellón esquilado y la calidad se determina en función al porcentaje de fibra fina que se obtenga para la producción de hilo de fibra de alpaca en Puno. Los autores (7) y (5) señalan que la calidad es un factor complejo y el diámetro de la fibra tiene un impacto significativo en esta. Asimismo (8) revela que el diámetro medio de la fibra indica la finura de la fibra, un atributo valioso económicamente para los productores.

Los precios de la fibra experimentan variaciones significativas de un año a otro, ya que la mayor parte de la producción se destina a la exportación y su valor depende de las condiciones del mercado internacional. Se argumenta que el desarrollo del sector podría beneficiarse si los industriales ofrecen precios justos y diferenciados según la calidad, cantidad y color de la fibra. La mayor parte de la producción de fibra, alrededor del 85%, está en manos de pequeños productores, quienes presentan niveles de productividad relativamente bajos. Por otro lado, el 10% corresponde a productores medianos que han alcanzado un mayor grado de avance en sus técnicas, lo que les permite obtener fibra de mejor calidad. Finalmente, un 5% de la producción es realizada por empresas campesinas, las cuales han desarrollado procesos más avanzados, logrando una mayor calidad y cantidad de fibra (9).

Para establecer información objetiva de la calidad de la fibra de alpaca (10) se realizó la medición del diámetro de esta empleando un analizador óptico del diámetro de fibra (OFDA 2000) para determinar el diámetro de fibra.

En el año 2020 (Apaza Edgar & Quispe Esteben) realizaron un estudio para establecer valores referenciales para la media, desviación estándar y otros, del diámetro de la fibra en alpacas de la región Puno, para ello emplearon utilizando el optical fibre diameter analyser 2000 y un microscopio de proyección, sin embargo se puntualiza que los parámetros obtenidos deben considerarse referenciales, ya que el microscopio de proyección es el único instrumento en este estudio que puede registrar diámetros de fibras individuales, lo cual evidencia los desafíos en el control de calidad de esta. Un año después (12) analiza las muestras de fibra de alpaca con el mismo instrumento con el objetivo de establecer los valores económicos relativos para diez características vinculadas a la calidad de la fibra en alpacas.

Un estudio realizado por (13), él describe el análisis de calidad de fibra efectuado en un laboratorio especializado, utilizando técnicas avanzadas como el método de medias ajustadas (LSMEAS) y el modelo lineal aditivo (GLM) procesados en el software SAS. Los parámetros analizados incluyen diámetro medio de fibra, coeficiente de variación del diámetro, factor confort y longitud de mecha, determinándose con equipos específicos como el OFDA2000.

El uso de técnicas basadas en inteligencia artificial para el control de calidad de la fibra de alpaca han mostrado avances significativos en términos de precisión y eficiencia. Particularmente, el método descrito por [NO_PRINTED_FORM] (2024) emplea redes neuronales profundas, específicamente una arquitectura U-Net modificada, para generar mapas de distancia a partir de micrografías digitales. Este enfoque permite la segmentación precisa de fibras individuales y el cálculo automático del diámetro, con un error absoluto medio (MAE) de 0,1094 y un error cuadrático medio (MSE) de 0,0711, lo que demuestra que es un método eficaz en términos de precisión para medir los diámetros de las fibras.

En el artículo "Adaptación de inteligencia artificial por el modelo de regresión múltiple estocástica para determinar la calidad de la fibra de alpaca (Lama pacos)" (15) se logra determinar la calidad de la fibra de alpaca aplicando la inteligencia artificial basada en el modelo de regresión lineal múltiple con gradiente descendiente estocástica. El modelo de regresión lineal múltiple aplicado en machine learning se ajustó de manera precisa a un conjunto de datos reducido, logrando minimizar los errores y siendo optimizado mediante el uso del algoritmo de gradiente.

4. Discusión

La industria textil se enfrenta actualmente a grandes retos, especialmente el control de calidad de sus productos. Cuando se trata de fibras de alpaca, mundialmente conocida por su calidad y alta demanda, es importante adherirse a enfoques innovadores que garanticen la eficiencia y precisión necesarias para mantener su competitividad. En este

contexto, la inteligencia artificial (IA) se convierte en una herramienta transformadora que no solo mejora los métodos de evaluación y clasificación de fibras, sino que también contribuye a la optimización de los procesos productivos. Este análisis se centra en los beneficios y desafíos de la IA en el control de calidad de la fibra de alpaca y su potencial para revolucionar la industria.

Una de las principales ventajas de la inteligencia artificial es su capacidad para mejorar la precisión de las mediciones de parámetros importantes de la fibra, como el diámetro, la longitud y el peso de la malla. Las tecnologías avanzadas como el aprendizaje profundo y la visión por computadora han superado significativamente a los métodos tradicionales, incluidos dispositivos como el OFDA 2000, al clasificar las fibras por diámetro con mayor precisión. Esta mejora en la precisión no sólo minimiza el error humano, sino que también garantiza una calidad más consistente del producto final. Esto permite a los productores basar sus decisiones en datos más confiables, facilita la implementación de estrategias genéticas y de comercialización de fibras más efectivas, aumentando así su rentabilidad.

Además de mejorar el control de calidad, la IA ofrece el beneficio de predecir propiedades críticas de las fibras, optimizando la selección y los procesos comerciales. Herramientas como los modelos de regresión y las redes neuronales permiten predecir factores como la finura y el peso de la malla, que son elementos importantes para determinar los métodos de producción óptimos. Esta previsibilidad es especialmente importante en un entorno donde los consumidores exigen productos de alta calidad. Al integrar estas tecnologías, los fabricantes de fibra de alpaca no sólo pueden cumplir con las expectativas del mercado, sino también competir estratégicamente con sus competidores.

Sin embargo, la integración de herramientas de IA no está exenta de desafíos. En áreas con recursos limitados, la implementación de estas tecnologías puede verse limitada debido a una infraestructura inadecuada y un conocimiento técnico insuficiente de las partes interesadas locales. Para superar estas barreras, se deben desarrollar estrategias que faciliten el acceso a las tecnologías y es necesario apoyar programas de capacitación dirigidos a su uso. Para garantizar que todos los fabricantes, independientemente de su ubicación geográfica o nivel de recursos, puedan beneficiarse de la inteligencia artificial, es esencial la formación y el desarrollo de habilidades en esta área.

A pesar de estas limitaciones, los avances en el control de calidad permitidos por la inteligencia artificial ofrecen beneficios innegables, como la detección automática de defectos a través de visión por computadora, que mejora la calidad de los productos finales al tiempo que promueve procesos más sostenibles al reducir el desperdicio y aumentar la eficiencia de los recursos. A medida que los consumidores valoran cada vez más la sostenibilidad, la implementación de tecnologías que respalden estas prácticas es un diferenciador clave en el mercado. Esto no sólo beneficia directamente a los productores, sino que también satisface las expectativas de los consumidores que prefieren productos producidos de forma responsable.

En definitiva, la integración de la inteligencia artificial en los procesos de control de calidad de la fibra de alpaca ofrece una oportunidad única para modernizar la industria textil y mejorar sus estándares. Desde la medición y clasificación precisas de la fibra hasta la selección genética y la optimización del marketing, la inteligencia artificial permite a los productores responder con éxito a los desafíos del mercado global. Asimismo, su contribución al desarrollo de métodos sostenibles y más eficientes pone de relieve su importancia en un entorno donde la responsabilidad medioambiental es cada vez más una prioridad. Sin embargo, para maximizar estos beneficios, se deben abordar las barreras a la implementación. Facilitar el acceso a tecnologías avanzadas y brindar capacitación técnica adecuada son pasos importantes para garantizar que todos los actores de la industria participen en este cambio. De esta manera, no sólo se fortalecerá la competitividad del sector, sino que se promoverá un desarrollo más equilibrado y responsable de la producción de fibra de alpaca que beneficiará tanto a productores como a consumidores.

5. Conclusiones

La inteligencia artificial (IA) ha demostrado ser una herramienta importante para mejorar la calidad del hilo de alpaca, lograr una mayor precisión en la medición de parámetros clave como la lana y el peso, y reducir las debilidades de los métodos tradicionales. Sin embargo, el marco regulatorio actual enfrenta serios obstáculos, incluida la dependencia de canales de voz y la falta de tecnología avanzada, lo que dificulta que los pequeños productores seleccionen y vendan hilados competidores. Se han identificado diversas herramientas de inteligencia artificial para resolver estos problemas, incluidos sistemas de visión por computadora y modelos de regresión, que brindan soluciones precisas y eficientes y superan las limitaciones de los métodos existentes. Sin embargo, la integración exitosa de estas tecnologías requiere el uso de métodos que incluyan capacitación específica para los desarrolladores, acceso igualitario a tecnologías avanzadas y un diseño que respalde la implementación, especialmente en áreas con recursos limitados. En el futuro se espera que aumente el uso de la inteligencia artificial en la industria textil, lo que revolucionará el control de calidad y la gestión de las fibras de alpaca y asegurará la más alta calidad en este mercado en crecimiento.

6. Literatura citada

1. MACHACA MACHACA V, BUSTINZA CHOQUE A V., CORREDOR ARIZAPANA FA, PAUCARA OCSA V, QUISPE PEÑA EE, MACHACA MACHACA R. FIBER CHARACTERISTICS OF HUACAYA ALPACA AT COTARUSE, APURÍMAC, PERÚ. VOL. 28, REVISTA DE INVESTIGACIONES VETERINARIAS DEL PERÚ. UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS; 2017. P. 843-51.
2. ROQUE GONZÁLES LA, VALDEZ EO. PRODUCTIVE AND TEXTILE CHARACTERISTICS OF FIBRE IN HUACAYA ALPACAS FROM PUNO, PERÚ. REVISTA DE INVESTIGACIONES VETERINARIAS DEL PERÚ. 2018;29(4):1325-34.
3. CHICAIZA SÁNCHEZ LA, GARZÓN JARRIN RA, ANDRADE AULESTIA PM. CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DE LA FIBRA DE ALPACAS (VICUGNA PACOS). COMO INDICADOR DE SU COMERCIALIZACIÓN QUALITY CHARACTERISTICS OF ALPACA (VICUGNA PACOS) FIBRE. AS AN INDICATOR OF ITS MARKETABILITY EDITADO POR: SELVA ANDINA RESEARCH SOCIETY. JOURNAL OF THE SELVA ANDINA ANIMAL SCIENCE ®. BOLIVIA. ALL RIGHTS RESERVED. 2023.
4. GONZÁLEZ HG, LEÓN VELARDE CR, ROSADIO RA, GARCÍA W V, GAVIDIA CH C. EVALUATION OF A NUMERIC METHOD FOR ALPACA FIBRE DIAMETER MEASUREMENT. VOL. 19, REV INV VET PERÚ. 2008.
5. POMA GUTIÉRREZ A, QUISPE PEÑA E, PURROY UNANUA A. CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS Y TEXTILES DE LA FIBRA DE ALPACAS DE RAZA HUACAYA. REVISTA COMPLUTENSE DE CIENCIAS VETERINARIAS. 19 DE FEBRERO DE 2013;7(1).
6. DÍAZ-GARAY B, LARIOS-FRANCIA RP, HERNÁNDEZ GORRITI W, CHÁVEZ UGAZ R, GÁLVEZ ZÁRATE CA, CONDORI TICONA A, ET AL. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO ARTESANAL DE PRODUCCIÓN DE HILO DE FIBRA DE ALPACA EN PUNO, PERÚ. INGENIERÍA INDUSTRIAL [INTERNET]. 2021;(40):145-69. DISPONIBLE EN: [HTTPS://REVISTAS.ULIMA.EDU.PE/INDEX.PHP/INGENIERIA_INDUSTRIAL/ARTICLE/VIEW/5149](https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/ingenieria_industrial/article/view/5149)
7. QUISPE PEÑA EC, RIVERA QUINTO R, ESPINOZA CASTILLO M, FLORES ALCA V, QUISPE BONILLA M, PABLO MUELLER J. FIBRE DENSITY AND DENSITY OF HAIR DUCTS AS SELECTION CRITERIA TO IMPROVE THE QUALITY AND WEIGHT OF ALPACA FLEECE. REVISTA DE INVESTIGACIONES VETERINARIAS DEL PERÚ. 2023;34(2).
8. QUISPE D, CASTILLO P, YANA W, VILCANQUI H, APAZA E. TEXTILE CHARACTERISTICS OF FIBER OF SURI ALPACAS FROM THE LIVESTOCK FAIR OF THE SOUTH OF PERU. CHILEAN JOURNAL OF AGRICULTURAL AND ANIMAL SCIENCES. 1 DE ENERO DE 2024;40(1):178-89.
9. CARPIO VALENCIA FE. THE VALUE CHAIN TO OPTIMIZE THE PRODUCTION OF ALPACA FIBER IN THE COMPANY SAIS SOLLOCOTA LTDA. N° 5-PERÚ. COMUNICACIÓN: REVISTA DE INVESTIGACIÓN EN COMUNICACIÓN Y DESARROLLO. 2 DE DICIEMBRE DE 2017;VOL. 8, NÚM. 2:125-36.

10. LLACTAHUAMANI I, AMPUERO E, CAHUANA E, CUCHO H. FIBRE QUALITY OF HUACAYA AND SURI ALPACAS FROM THE BREEDING STOCK OF OCONGATE, CUSCO, PERU. REVISTA DE INVESTIGACIONES VETERINARIAS DEL PERÚ 22 DE JUNIO DE 2020;31(2).
11. APAZA EDGAR, QUISPE ESTEBEN. PRECISIONES SOBRE EL DIÁMETRO DE FIBRA EN ALPACAS DE LA REGIÓN PUNO, PERÚ. REVISTA DE INVESTIGACION E INNOVACION AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES, LA PAZ. 2020;7:7-15.
12. ZUÑIGA EA, CHAMBI SC, CARBAJAL CC, MELÉNDEZ FRA, FIGUEROA IT, VIVEROS WY, ET AL. RELATIVE ECONOMIC VALUES FOR FINENESS TRAITS IN ALPACA FIBRE OF THE PUNO REGION. REVISTA DE INVESTIGACIONES VETERINARIAS DEL PERÚ. 25 DE AGOSTO DE 2021;32(4).
13. QUISPE MAMANI Y. EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FIBRA DE ALPACA HUACAYA (VICUÑA PACOS) EN LA COMUNIDAD ORIGINARIA CHACALTAYA. APTHAP. DICIEMBRE DE 2020;VOLUMEN 6, NÚMERO 3:2027-43.
14. ALEJO HUARACHI AM, BELTRÁN CASTAÑÓN CA. A DEEP LEARNING APPROACH TO DISTANCE MAP GENERATION APPLIED TO AUTOMATIC FIBER DIAMETER COMPUTATION FROM DIGITAL MICROGRAPHS. SENSORS. 1 DE SEPTIEMBRE DE 2024;24(17).
15. PORTOCARRERO BANDA AA, VILCA CAYLLAHUA E, ORTIZ QUISPE BS, MIRANDA RAMOS LM, JIMÉNEZ PACHECO HG. ARTIFICIAL INTELLIGENCE ADAPTATION BY THE STOCHASTIC MULTIPLE REGRESSION MODEL TO DETERMINE THE FIBRE QUALITY OF ALPACA (LAMA PACOS). REVISTA DE INVESTIGACIONES VETERINARIAS DEL PERÚ. 2023;34(2).

Análisis de la aplicación de inteligencia artificial para mejorar el control de calidad del arándano

Sr. Bruce Isaías Mejía Cruz

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Correo Electrónico: bruce.mejia@unmsm.edu.pe

Sr. Jonathan Alfredo Paredes Laura

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Correo Electrónico: jonathan.paredes@unmsm.edu.pe

Resumen: Este estudio realiza una revisión sistemática de la literatura sobre el impacto de la inteligencia artificial en los procesos de inspección y selección para optimizar el control de calidad de arándanos. Se aplicó la metodología PRISMA con una estrategia de búsqueda basada en PICOC, identificando 20 estudios relevantes. Los resultados destacan el uso de herramientas avanzadas como redes neuronales, imágenes hiperespectrales y visión por computadora para mejorar la detección de defectos y la precisión en la selección. A pesar de los avances, persisten desafíos como la complejidad técnica, los costos y la necesidad de capacitación. Se propone integrar la IA con tecnologías IoT para optimizar la producción, asegurar la calidad y reducir pérdidas postcosecha, mejorando la competitividad y sostenibilidad del sector agroindustrial.

Palabras Claves: Arándano/ Detección/ Selección/ Inteligencia artificial.

Abstract: This study conducts a systematic literature review on the impact of artificial intelligence on inspection and selection processes to optimize blueberry quality control. The PRISMA methodology was applied with a search strategy based on PICOC, identifying 20 relevant studies. The results highlight the use of advanced tools such as neural networks, hyperspectral imaging, and computer vision to improve defect detection and selection accuracy. Despite the progress, challenges such as technical complexity, costs, and the need for training persist. The integration of AI with IoT technologies is proposed to optimize production, ensure quality, and reduce post-harvest losses, thereby improving the competitiveness and sustainability of the agro-industrial sector.

Keywords: Blueberry/ Detection/ Selection/ Artificial intelligence.

Résumé : Cette étude effectue une revue systématique de la littérature sur l'impact de l'intelligence artificielle dans les processus d'inspection et de sélection pour optimiser le contrôle de qualité des myrtilles. La méthodologie PRISMA a été appliquée avec une stratégie de recherche basée sur PICOC, identifiant 20 études pertinentes. Les résultats mettent en évidence l'utilisation d'outils avancés tels que les réseaux neuronaux, l'imagerie hyperspectrale et la vision par ordinateur pour améliorer la détection des défauts et la précision de la sélection. Malgré les progrès réalisés, des défis subsistent,

notamment la complexité technique, les coûts et le besoin de formation. L'intégration de l'IA avec les technologies IoT est proposée pour optimiser la production, garantir la qualité et réduire les pertes post-récolte, améliorant ainsi la compétitivité et la durabilité du secteur agro-industriel.

Mots-clés : Myrtille/ Détection/ Sélection/ Intelligence artificielle.

1. Introducción

El arándano ha ganado una relevancia significativa en el comercio agrícola internacional en los últimos años. Este fruto, originario de América del Norte, se cultiva ahora en diversas regiones del mundo, incluyendo Europa, Sudamérica y Oceanía. Los principales productores y exportadores de arándanos son Estados Unidos, Perú, Chile y México, aprovechando sus ventajas climáticas y capacidad de producción a gran escala. La demanda global de arándanos ha crecido debido a sus beneficios para la salud, como su alto contenido en antioxidantes, vitaminas y bajo contenido calórico, lo que lo convierte en un superalimento muy apreciado (Ninaquispe et al., 2024).

El sector agroexportador peruano, particularmente en productos como el arándano, enfrenta grandes desafíos en el control de calidad debido a la dependencia de métodos tradicionales de inspección visual. Estos métodos presentan limitaciones significativas en la consistencia y precisión de la evaluación, lo que impacta la capacidad de los productos peruanos para cumplir con los estrictos estándares de calidad requeridos en mercados internacionales (Ninaquispe et al., 2024). Además, la variabilidad en la calidad de los arándanos, influenciada por diversos factores, presenta desafíos significativos para mantener la consistencia en el control de calidad. Esta falta de uniformidad afecta la competitividad en mercados internacionales, y subraya la necesidad de estrategias sostenibles (Liu et al., 2021). La inteligencia artificial ha emergido como una herramienta clave para abordar los desafíos en el control de calidad de frutas y vegetales. Mediante el uso de algoritmos de deep learning y tecnologías de visión por computadora, la inteligencia artificial permite una detección precisa de defectos en productos durante su procesamiento (Liu et al., 2021). Por otro lado, la inteligencia artificial tiene un gran potencial para proporcionar beneficios económicos mediante la reducción de costos operativos, así como mejoras ambientales al disminuir el uso de insumos y minimizar el desperdicio, lo que contribuye a la sostenibilidad del sector (Zhang et al., 2024).

A pesar de los avances en la tecnología aplicada al control de calidad, la industria del arándano aún enfrenta importantes desafíos relacionados con la variabilidad en la calidad del producto y la eficiencia en los procesos de selección. Si bien existen numerosos estudios que exploran la implementación de la inteligencia artificial en distintos sectores agrícolas, aún no se ha realizado una revisión exhaustiva que sintetice los resultados y desafíos para esta industria (Papadopoulos et al., 2024). Esto destaca la necesidad de una revisión sistemática de la literatura que analice el impacto de la Inteligencia artificial en la mejora del control de calidad del arándano, proporcionando una visión crítica y una base sólida para la toma de decisiones informadas por parte de

productores y empresarios que deseen impulsar la adopción de la inteligencia artificial en este sector que constantemente busca innovar.

Problemática

La revisión actual se fundamenta en una revisión sistemática de la literatura (RSL) que estructura y expande la perspectiva sobre las herramientas de inteligencia artificial existentes en la literatura. Con el fin de orientar esta investigación, se formuló la siguiente pregunta general: ¿Qué impacto tiene la aplicación de inteligencia artificial en los procesos de inspección y selección para mejorar el control de calidad de los arándanos? Adicionalmente, se establecieron varias preguntas específicas para realizar un análisis más profundo:

RQ1: ¿Qué es la inteligencia artificial y cuál es su importancia en el ámbito del control de calidad?

RQ2: ¿Cuáles son las herramientas de inteligencia artificial utilizadas en el control de calidad de los arándanos en los procesos de inspección y selección?

RQ3: ¿Por qué es importante los procesos de inspección y selección dentro del control de calidad de los arándanos?

RQ4: ¿Cuáles son los desafíos al integrar sistemas de inteligencia artificial en los procesos de control de calidad de arándanos?

Objetivo

El presente estudio tiene como objetivo analizar el impacto de la implementación de inteligencia artificial (IA) en los procesos de inspección y selección, con el propósito de mejorar el control de calidad de arándanos. Para lograr esto, se definirán los conceptos clave de la inteligencia artificial y su relevancia en el control de calidad. A través de la identificación de las herramientas de IA utilizadas en este ámbito, se busca analizar las más efectivas para asegurar la calidad de los arándanos en los procesos de inspección y selección. Adicionalmente, este estudio pretende resaltar la importancia crítica de estos procesos en la cadena de suministro, así como explorar los desafíos que plantea la integración de inteligencia artificial en los sistemas de control de calidad. Finalmente, se propondrá un aporte basado en los hallazgos obtenidos, que guiará futuras investigaciones y aplicaciones prácticas de la inteligencia artificial en la industria del arándano, impulsando su incorporación para optimizar el control de calidad.

2. Material y métodos

Estrategia de búsqueda

El presente análisis se realizó siguiendo el protocolo PRISMA, lo que asegura una presentación detallada y estructurada de los procedimientos y resultados obtenidos, de acuerdo con lineamientos establecidos. En este contexto, se implementó una estrategia de búsqueda empleando el acrónimo PICOC (Problema, Intervención, Comparador, Resultados, Contexto). Esto permitió identificar y definir las palabras claves que conforman la ecuación booleana utilizada en la búsqueda, las cuales se detallan en la Tabla 1, en relación con la aplicación de inteligencia artificial para optimizar el control de calidad del arándano.

Tabla N°1: Análisis de elementos PICOC y palabras claves

Componentes		Keywords
P	Arándanos	"Blueberry Production" OR "Quality Blueberries"
I	Inteligencia artificial	"Convolutional neural networks" OR "Machine Learning" OR "Deep Learning" OR "Chemometrics" OR "Mathematical Models"
C	Métodos tradicionales de inspección	"Manual Monitoring" OR "Visual control"
O	Mejora del control de calidad	"Loss Reduction" OR "Machine Vision System" OR "Infrared Spectroscopy" OR "Active Monitoring with Drones"
C	Sector agroindustrial	"Food industry" OR "Food processing" OR "Technological innovation"

Fuente: Elaboración propia

Las palabras claves identificadas, junto con los operadores booleanos, fueron empleadas para estructurar la ecuación de búsqueda de este análisis. La estrategia se desarrolló utilizando las siguientes combinaciones: (TITLE-ABS-KEY ("Blueberry Production" OR "Quality Blueberries") AND TITLE-ABS-KEY ("Convolutional neural networks" OR "Machine Learning" OR "Deep Learning" OR "Chemometrics" OR "Mathematical Models") AND TITLE-ABS-KEY ("Manual Monitoring" OR "Visual control") AND TITLE-ABS-KEY ("Loss Reduction" OR "Machine Vision System" OR "Infrared Spectroscopy" OR "Active Monitoring with Drones") AND TITLE-ABS-KEY ("Food industry" OR "Food processing" OR "Technological innovation")). Esta ecuación de búsqueda fue aplicada en la base de datos SCOPUS. Se aplicaron filtros de tiempo (2018-2024) limitando los resultados a publicaciones recientes y a "artículos" enfocados en la aplicación de inte-

ligencia artificial en el control de calidad de los arándanos obteniendo un total de 50 registros iniciales.

Criterios de elegibilidad

Para llevar a cabo el protocolo PRISMA, se definieron criterios de elegibilidad, tanto de inclusión como de exclusión, con el objetivo de asegurar que los resultados obtenidos en la ecuación de búsqueda estén alineados con el tema de investigación de esta revisión sistemática.

Criterios de inclusión

CI.1: Artículos publicados en los últimos 6 años (2018-2024) para garantizar que la información sea reciente y relevante.

CI.2: Solo artículos en inglés y español, facilitando la comprensión y análisis de la información.

CI.3: Estudios que se centren en la aplicación de la inteligencia artificial en el control de calidad, especialmente en los procesos de inspección y selección de arándanos.

CI.4: Artículos que discutan herramientas de inteligencia artificial aplicadas en el sector agroindustrial, con especial énfasis en frutas o productos perecederos.

CI.5: Estudios que comparen métodos tradicionales de inspección con enfoques basados en inteligencia artificial para el control de calidad.

CI.6: Artículos de investigación primaria, revisiones sistemáticas, o meta-análisis que aporten datos y evidencias sobre la mejora en el control de calidad de arándanos mediante IA.

Criterios de exclusión

CE.1: Artículos publicados antes de 2018.

CE.2: Artículos en otros idiomas que no sean inglés o español.

CE.3: Estudios que no traten la aplicación de inteligencia artificial o se centren solo en tecnologías tradicionales sin comparación con IA

CE.4: Artículos que aborden la inteligencia artificial de manera general sin una conexión clara con el control de calidad en el sector agroindustrial o en productos específicos como los arándanos.

CE.5: Fuentes que no hayan sido revisadas por pares, como reportes internos, artículos de opinión o blogs, para asegurar la fiabilidad de la información.

CE.6: Aquellos que no mencionen tecnologías o enfoques actuales, o que no reflejen avances recientes en el campo.

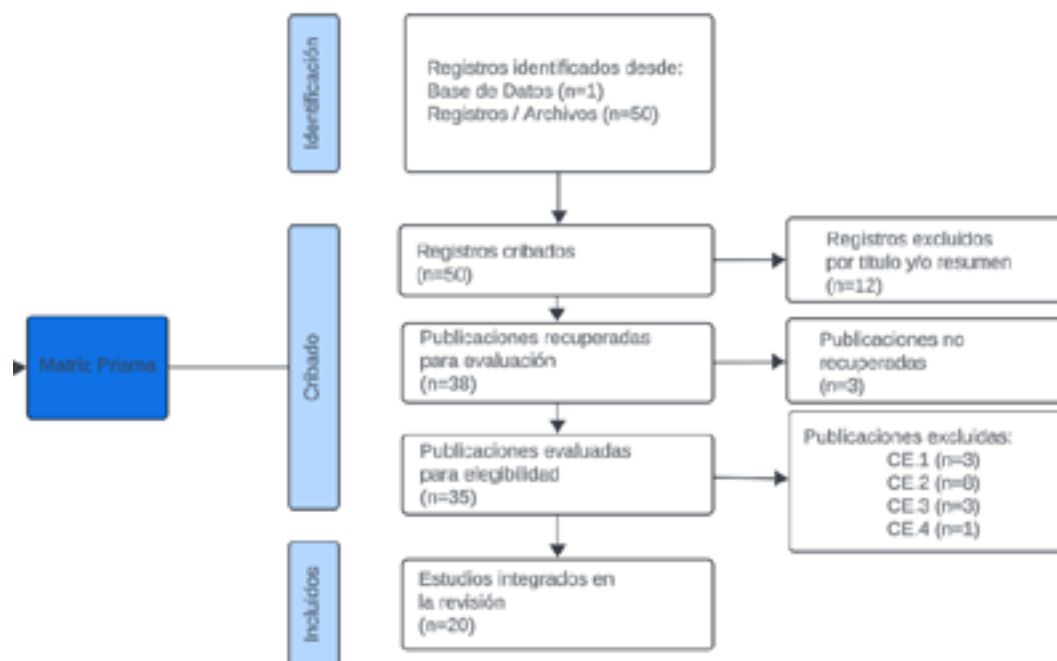
Tabla N°2: Criterios de elegibilidad

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículos publicados en los últimos 6 años (2018-2024) para garantizar que la información sea reciente y relevante.	Artículos publicados antes de 2018.
Solo artículos en inglés y español, facilitando la comprensión y análisis de la información.	Artículos en otros idiomas que no sean inglés o español.
Estudios que se centren en la aplicación de la inteligencia artificial en el control de calidad, especialmente en los procesos de inspección y selección de arándanos.	Estudios que no traten la aplicación de inteligencia artificial o se centren solo en tecnologías tradicionales sin comparación con IA
Artículos que discutan herramientas de inteligencia artificial aplicadas en el sector agroindustrial, con especial énfasis en frutas o productos perecederos.	Artículos que aborden la inteligencia artificial de manera general sin una conexión clara con el control de calidad en el sector agroindustrial o en productos específicos como los arándanos.
Estudios que comparen métodos tradicionales de inspección con enfoques basados en inteligencia artificial para el control de calidad.	Fuentes que no hayan sido revisadas por pares, como reportes internos, artículos de opinión o blogs, para asegurar la fiabilidad de la información.
Artículos de investigación primaria, revisiones sistemáticas, o meta-análisis que aporten datos y evidencias sobre la mejora en el control de calidad de arándanos mediante IA.	Aquellos que no mencionen tecnologías o enfoques actuales, o que no reflejen avances recientes en el campo.

Fuente: Elaboración propia

Proceso de filtración y selección

El proceso de selección se realizó en varias etapas (Figura 1). En primer lugar, en la fase de identificación, no se detectaron duplicados, por lo que los 50 registros iniciales avanzaron a la fase de cribado. Luego, se revisaron los títulos y resúmenes para verificar su adecuación a los criterios de inclusión, lo que resultó en la exclusión de 12 registros y dejó 38 para su recuperación. Tras evaluar la accesibilidad y disponibilidad en línea de estos estudios, se descartaron 3 debido a restricciones de acceso, reteniendo 35 estudios preseleccionados. Finalmente, al aplicar los criterios de exclusión a los estudios restantes, se eliminaron 15, quedando 20 estudios seleccionados para la revisión sistemática (Tabla 2).

Figura N°1: Flujograma PRISMA de la filtración y selección de datos.

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3: Tabla de aportes

REFERENCIA	TÍTULO	COMENTARIO
(Haydar et al., 2023)	Deep learning supported machine vision system to precisely automate the wild blueberry harvester header	Se desarrolló un sistema de control automatizado basado en visión por computadora y deep learning para ajustar la altura de la cosechadora de arándanos, reduciendo la fatiga del operador.
(Zhang et al., 2020)	Fully convolutional networks for blueberry bruising and calyx segmentation using hyperspectral transmittance imaging	Se utilizó un sistema de imágenes hiperespectrales y redes neuronales para detectar magulladuras internas en arándanos con 81.2% de precisión, mejorando el control de calidad.
(Wieme et al., 2022)	Application of hyperspectral imaging systems and artificial intelligence for quality assessment of fruit, vegetables and mushrooms: A review	La imagen hiperespectral se está consolidando como una herramienta eficaz para evaluar la calidad de frutas, enfrentando desafíos de integración con inteligencia artificial.
(Ghazal et al., 2024)	Computer vision in smart agriculture and precision farming: Techniques and applications	La integración de visión por computadora e inteligencia artificial en la agricultura de precisión promete mejorar la productividad, explorando técnicas de imagen en la última fase del ciclo agrícola digital.
(Ktenioudaki et al., 2021)	Blueberry supply chain: Critical steps impacting fruit quality and application of a boosted regression tree model to predict weight loss	El estudio analizó cómo las condiciones de la cadena de suministro afectan la calidad y vida útil de los arándanos, destacando la importancia del control de temperatura en etapas críticas.
(Park et al., 2023)	Improving blueberry firmness classification with spectral and textural features of microstructures using hyperspectral microscope imaging and deep learning	Este estudio utilizó imágenes hiperespectrales y deep learning para analizar cambios microestructurales en arándanos, logrando clasificar la firmeza con un 95% de precisión, mejorando técnicas no destructivas.

(Ferrão et al., 2023)	Machine learning applications to improve flavor and nutritional content of horticultural crops through breeding and genetics	Este artículo analiza cómo la inteligencia artificial puede mejorar el control de calidad durante la cosecha, ayudando a desarrollar cultivos más sabrosos y nutritivos.
(Tan et al., 2018)	Recognising blueberry fruit of different maturity using histogram-oriented gradients and colour features in outdoor scenes	Este estudio desarrolló un algoritmo para reconocer la madurez de arándanos utilizando imágenes a color, logrando una precisión de hasta 96%, mejorando el control de calidad en la cosecha.
(Wang et al., 2024)	Fruits and vegetables preservation based on AI technology: Research progress and application prospects	El estudio destaca cómo la inteligencia artificial optimiza la preservación de frutas en la cadena de suministro, mejorando el control de calidad, predicción de vida útil y monitoreo ambiental.
(Deng et al., 2024)	Fusing spectral and spatial features of hyperspectral reflectance imagery to differentiate between normal and defective blueberries	Este estudio investiga la detección de defectos en arándanos mediante imágenes hiperespectrales y machine learning, con el objetivo de asegurar productos de alta calidad para el mercado fresco.
(Huang et al., 2024)	"Improvement of a flexible multimode pressure-strain sensor (FMPSS) for blueberry firmness tactile sensing and tamper-evident packaging	Este estudio presenta un sensor flexible multimodal (FMPSS) diseñado para evaluar la firmeza de los arándanos y detectar alteraciones en el empaque
(Shicheng et al., 2021)	Nondestructive detection of decayed blueberry based on information fusion of hyperspectral imaging (HSI) and low-field nuclear magnetic resonance (LF-NMR)	Este estudio presenta un método para la detección no destructiva de arándanos en descomposición mediante la fusión de imágenes hiperespectrales (HSI) y resonancia magnética nuclear de campo bajo (LF-NMR).
(Zhang & Dai., 2022)	A survey of machine vision applications for fruit recognition	Este artículo destaca el uso creciente de la visión por computadora en la recolección de frutas, enfocándose en la identificación, detección de madurez y clasificación.

(Mu et al., 2020)	Non destructive detection of blueberry skin pigments and intrinsic fruit qualities based on deep learning	Este estudio propone un método novedoso para mejorar la precisión y eficiencia en la detección de la calidad de los arándanos utilizando deep learning.
(Basri et al., 2018)	Faster R-CNN implementation method for multi-fruit detection using tensorflow platform	Este estudio propone el uso de deep learning mediante faster R-CNN para la clasificación de múltiples frutas, específicamente mango y pitahaya, durante la cosecha.
(Zhang et al., 2022)	Artificial neural network assisted multiobjective optimization of postharvest blanching and drying of blueberries	Este estudio se centró en optimizar el proceso de escaldado y secado poscosecha de arándanos utilizando un sistema novedoso de escaldado/secado asistido por infrarrojos y aire caliente.
(Houhou & Bocklitz, 2021)	Trends in artificial intelligence, machine learning, and chemometrics applied to chemical data	Este artículo subraya cómo las herramientas basadas en inteligencia artificial, como la quimiometría, el machine learning y el deep learning, son esenciales para maximizar el uso de los datos y su comprensión
(Niedbała et al., 2022)	Prediction of blueberry (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.) yield based on artificial intelligence methods	Este artículo describe el uso de modelos de machine learning para predecir el rendimiento de cultivos de arándanos con alta precisión, utilizando conjuntos de datos innovadores.
(Wang et al., 2022)	Advanced detection techniques using artificial intelligence in processing of berries	Este artículo enfatiza cómo las tecnologías avanzadas y los métodos basados en inteligencia artificial están transformando el procesamiento de bayas.
(Li et al., 2019)	Optical non-destructive techniques for small berry fruits: A review	Este artículo destaca la importancia de las técnicas ópticas no destructivas en el control de calidad y seguridad de frutas pequeñas como el arándano.

Fuente: Elaboración propia

3. Resultados

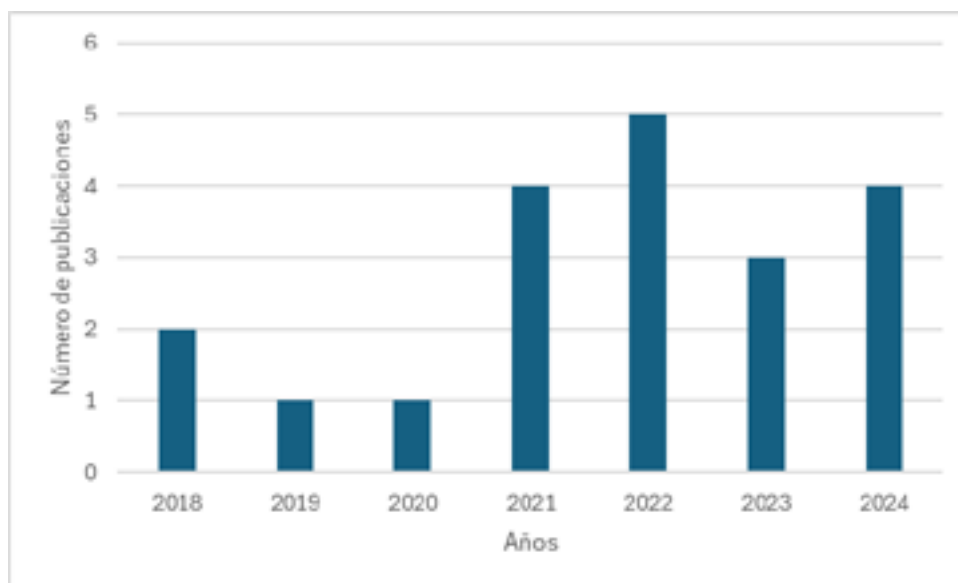
Los resultados se organizaron en dos secciones principales: primero, un análisis descriptivo de los artículos seleccionados, Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de las publicaciones con el objetivo de obtener datos que permitieran responder a las interrogantes planteadas en el marco de la investigación

3.1. Análisis descriptivo

3.1.1. Publicaciones por año

El análisis de las publicaciones relacionadas con la inteligencia artificial y tecnologías aplicadas en la industria de arándanos, abarcando desde 2018 hasta 2024, muestra que las publicaciones están aumentando. (Figura 2). El año con mayor número de publicaciones es 2022, con un total de cinco artículos, lo que indica un notable aumento en la investigación reciente sobre el uso de tecnologías avanzadas en la preservación y calidad de frutas. En 2023 y 2024 también se observa una actividad significativa, con tres publicaciones en cada año. Estos años destacan como periodos clave en los que el interés académico ha crecido de manera consistente. Entre 2018 y 2021, el número de publicaciones publicadas ha ido creciendo, con uno o dos artículos por año. Esta tendencia creciente sugiere que la aplicación de inteligencia artificial y tecnologías de visión por computadora en la industria alimentaria, especialmente en la gestión de calidad de arándanos, ha captado mayor atención en los últimos años, probablemente debido a la necesidad de mejorar los procesos de cosecha, conservación y distribución.

Figura N°2: Contribución de publicaciones por año

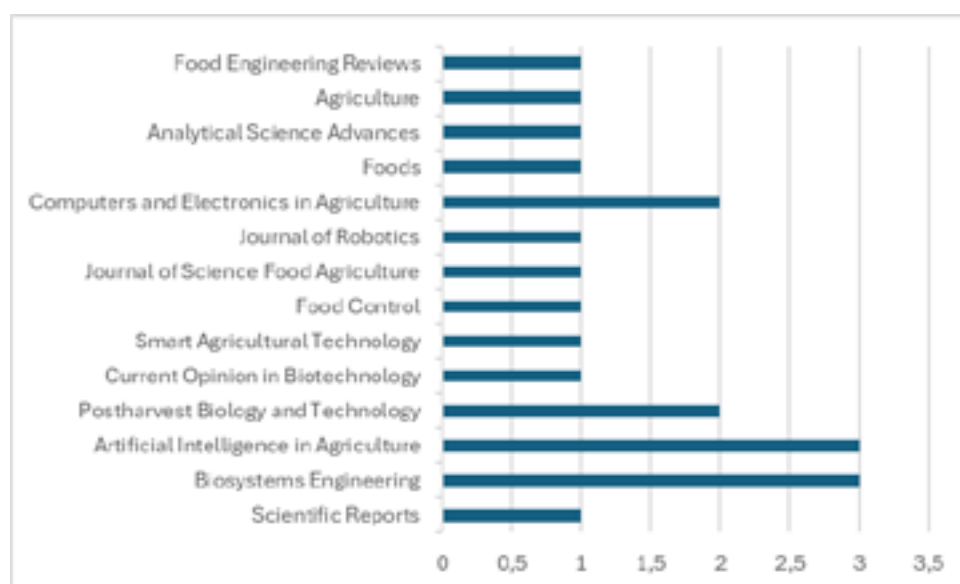


Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Publicaciones por revista

El análisis de las publicaciones por revista muestra que Biosystems Engineering es la revista que más contribuye al campo de estudio, con al menos tres artículos indexados (Figura 3). Esta revista se destaca por ser un foro clave en la investigación relacionada con la ingeniería de biosistemas, enfocándose en innovaciones tecnológicas aplicadas a la agricultura y la industria alimentaria. Artificial Intelligence in Agriculture, también juega un papel importante en el área, con tres publicaciones relevantes, lo que resalta el creciente interés en el uso de inteligencia artificial en la agricultura de precisión y la gestión postcosecha. Las publicaciones en estas revistas son fundamentales para el avance del conocimiento en el uso de tecnologías avanzadas en la preservación y calidad de los productos agrícolas, brindando valiosos aportes tanto a la comunidad académica como a la industria.

Figura N°3: Distribución de publicaciones por revista



Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Publicaciones por países

La distribución de publicaciones por países muestra una predominancia de investigaciones provenientes de Estados Unidos, China y otros países de Europa, en donde se han realizado importantes avances en el uso de inteligencia artificial para mejorar el control de calidad de frutas, especialmente arándanos (Figura 4). Estos países lideran en el desarrollo de herramientas basadas en visión artificial y machine learning, reflejando el interés global por aplicar tecnologías avanzadas en el sector agrícola.

Figura N°4: Distribución de publicaciones por países

Fuente: Elaboración propia

El mapa coroplético del artículo ilustra la distribución geográfica de publicaciones sobre inteligencia artificial aplicada al control de calidad de arándanos, con un claro liderazgo de Estados Unidos y China (Figura 5). Estos países son clave en la investigación de tecnologías avanzadas, como la visión por computadora y el deep learning, utilizadas para evaluar la calidad y frescura del fruto. Esta concentración de estudios responde a la necesidad de mejorar la precisión y eficiencia en la cadena de suministro del arándano, asegurando estándares de calidad en mercados globales exigentes

Figura N°5: Mapa coroplético

Fuente: Elaboración propia

3.1.4. Incidencia de las palabras claves

El análisis de la incidencia de palabras clave, derivado a la búsqueda PRISMA, identificó 4 grupos principales (Figura. 6).

Figura N°6: Diagrama neuronal de incidencia de palabras claves



Fuente: Elaboración propia

El primer grupo (rojo) se centra en calidad, asociado con términos como "control de calidad", "análisis de alimentos", "estudio controlado", "límites de detección" y "espectrometría de masas". El segundo grupo (azul) se centra en las características del arándano y su taxonomía, asociado con términos como "arándano", "vaccinum", "fruta", "plantas de arándanos", y con "alimento de calidad". El tercer grupo (amarillo) se centra en la inteligencia artificial aplicada a la clasificación de frutas, asociado con términos como "deep learning", "calidad de la fruta", "redes neuronales convolucionales", "sistemas de aprendizaje" y "redes neuronales". El cuarto grupo (verde) se centra en el uso de técnicas de imagen no destructivas para el análisis de muestras, asociado con términos como "imágenes hiperespectrales", "procesamiento de imágenes", "espectroscopía", "espectroscopía de infrarrojo cercano", "técnicas de imagen" y "detección no destructiva". Estas agrupaciones indican que los temas más relevantes están relacionados con la calidad de los alimentos, especialmente la del arándano y cómo se utilizan tecnologías avanzadas, inteligencia artificial y métodos de imagen no destructivos para evaluar, clasificar y mejorar esa calidad.

3.2. Características del contexto de estudio

Los estudios seleccionados mostraron una gran variedad de aplicaciones y enfoques de herramientas de inteligencia artificial en el control de calidad de los arándanos, con mayor énfasis en la mejora de la clasificación, detección de defectos y optimización de procesos durante la cosecha y poscosecha.

Algunos de estos estudios se enfocan en la implementación de sistemas automatizados basados en visión por computadora y deep learning para mejorar la precisión en la cosecha y clasificación de arándanos. Por ejemplo, en un estudio se propuso un sistema automatizado para ajustar la altura de las cosechadoras de arándanos, para optimizar el proceso y disminuir la fatiga del operador (Haydar et al., 2023). En otro estudio se desarrolló un algoritmo para reconocer la madurez de los arándanos con una precisión del 96%, en la que se utilizaron imágenes a color (Tan et al., 2018). Estos avances han demostrado mejoras en el control de calidad garantizando que solo los frutos maduros sean cosechados y clasificados.

Una parte significativa de los estudios utiliza la aplicación de imágenes hiperespectrales e inteligencia artificial para la detección de defectos internos y la evaluación de la calidad de los arándanos. Por ejemplo, Zhang et al. (2020) utilizaron imágenes hiperespectrales y redes neuronales para detectar partes maltratadas internas en los frutos, alcanzando una precisión del 81.2%. Por otro lado, Deng et al. (2024) combinaron características espectrales y espaciales de imágenes hiperespectrales para diferenciar entre arándanos normales y defectuosos. El control de calidad se ha enfocado en la detección de defectos y en la evaluación de las características sensoriales del fruto. Para clasificar la firmeza de los arándanos se utilizó imágenes hiperespectrales y machine learning, esto para mejorar el proceso de selección en función de las características organolépticas del arándano (Park et al., 2023). Resalta como la inteligencia artificial es utilizada para mejorar el sabor y el contenido nutricional de los cultivos (Ferrão et al., 2023). Así también se han diseñado sensores para la evaluación de la firmeza de los arándanos, se presenta un sensor flexible multimodal (FMPSS) diseñado para evaluar la firmeza de los arándanos y detectar alteraciones (Huang et al., 2024).

Finalmente, se utilizaron técnicas de detección no destructivas que pudieran preservar la integridad del arándano. Se presentó un método para la detección no destructiva de arándanos en descomposición, fusionando imágenes hiperespectrales y resonancia magnética nuclear de campo bajo (Shicheng et al., 2021), así como la aplicación de técnicas ópticas no destructivas, sistema de visión artificial, método inducido por láser e imágenes térmicas para el control de calidad de pequeñas bayas (Li et al., 2019).

La información descrita se resume en la Tabla 3, donde se presentan las principales características del contexto de los estudios seleccionados, incluyendo sus objetivos y las tecnologías aplicadas. Esta recopilación permite apreciar cómo diversas herramientas de inteligencia artificial y técnicas avanzadas se han empleado para abordar diferentes aspectos del control de calidad en arándanos.

Tabla N°4: Características del contexto de los estudios seleccionados

REFERENCIA	OBJETIVO	TECNOLOGÍAS / ÁREAS APLICADAS
(Haydar et al., 2023)	Desarrollar un sistema automatizado para ajustar la altura de la cosechadora de arándanos	Visión por computadora, deep learning, automatización en la cosecha de arándanos.
Zhang et al. (2020)	Detectar magulladuras internas en los arándanos utilizando imágenes hiperespectrales y redes neuronales	Imágenes hiperespectrales, redes neuronales, detección de defectos en arándanos
Wieme et al. (2022)	Revisar el uso de imágenes hiperespectrales para la evaluación de la calidad de frutas	Imágenes hiperespectrales, deep learning, machine learning, evaluación de calidad de frutas
(Ghazal et al., 2024)	Explorar cómo la visión por computadora y la IA pueden mejorar la productividad en la agricultura de precisión.	Visión por computadora, imágenes hiperespectrales, térmicas, agricultura de precisión
(Ktenioudaki et al., 2021)	Estudiar el impacto de la cadena de suministro en la calidad de los arándanos y predecir la pérdida de peso	Modelo de árbol de regresión potenciado, cadena de suministro, control de calidad
Park et al. (2023)	Mejorar la clasificación de la firmeza de los arándanos utilizando imágenes hiperespectrales	Imágenes hiperespectrales, deep learning, clasificación de firmeza en arándanos
(Ferrão et al., 2023)	Mejorar el sabor y contenido nutricional de los cultivos aplicando deep learning	Machine learning, mejoramiento genético, cosechas de arándanos
Tan et al. (2018)	Desarrollar y aplicar un algoritmo para reconocer y clasificar los arándanos en las diferentes etapas de su madurez	Visión por computadora, deep learning, clasificación de arándanos
Wang et al. (2024)	Aplicar inteligencia artificial para optimizar la preservación de frutas en la cadena de suministro	Machine learning, redes neuronales artificiales, deep learning, cadena de suministro

(Deng et al., 2024)	Detectar defectos en arándanos utilizando imágenes hiperespectrales y machine learning para diferenciar entre arándanos normales y defectuosos	Imágenes hiperespectrales, machine learning, detección de defectos en arándanos
(Huang et al., 2024)	Aplicar un sensor flexible multimodal para evaluar la firmeza de los arándanos y detectar defectos	Sensor flexible multimodal, evaluación de firmeza, detección de defectos
Shicheng et al. (2021)	Aplicar un método no destructivo para la detección de arándanos en descomposición	Imágenes hiperespectrales, resonancia magnética nuclear de campo bajo, redes neuronales probabilísticas, redes neuronales de propagación.
Zhang & Dai (2022)	Identificar, detectar y clasificar la madurez de las frutas mediante el uso de visión por computadora en la recolección de frutas	Visión por computadora, recolección de frutas, clasificación y detección
(Mu et al., 2020)	Mejorar la precisión y eficiencia en la detección (pigmentos) de la calidad de los arándanos utilizando un método basado en deep learning.	Deep learning, espectrofotómetro, cámara, detección de calidad de arándanos.
(Basri et al., 2018)	Detectar y clasificar múltiples frutas (mango y pitahaya) mediante el uso de deep learning durante la cosecha	Deep learning, redes neuronales convolucionales, clasificación de frutas
Zhang et al. (2022)	Optimizar el proceso de escaldado y secado poscosecha de arándanos mediante un sistema asistido por infrarrojos y aire caliente	Machine learning, redes neuronales artificiales, infrarrojos, secado poscosecha
(Houhou & Bocklitz, 2021)	Maximizar el uso y comprensión de datos químicos utilizando machine learning y deep learning.	Machine learning, deep learning, quimiometría
(Niedbała et al., 2022)	Utilizar modelos de machine learning para predecir el rendimiento de cultivos de arándano	Machine learning, modelos predictivos, predicción de rendimiento de cultivos

Wang et al. (2022)	Analizar las aplicaciones de técnica de detección avanzadas, basadas en inteligencia artificial, para detectar y predecir el procesamiento de bayas	Machine learning, deep learning, redes neuronales artificiales, sistemas de visión 3D, imágenes hiperespectrales, clasificación, secado, desinfección y congelación de bayas
(Li et al., 2019)	Revisar las técnicas ópticas no destructivas empleadas para evaluar la calidad y seguridad de frutas pequeñas como fresas y arándanos.	Espectroscopía, visión por computadora, imágenes hiperespectrales, imágenes térmicas

Fuente: Elaboración propia

3.3. Definición e importancia de la inteligencia artificial en el control de calidad

La inteligencia artificial (IA) ha demostrado ser una herramienta clave para mejorar la eficiencia en los procesos de control de calidad, especialmente mediante la automatización de inspecciones. Esto permite reducir los tiempos operativos y aumentar la velocidad en la detección de defectos, optimizando los recursos para garantizar que solo los productos que cumplen con los estándares avancen en la cadena de producción. Asimismo, facilita la recolección y procesamiento ágiles, incrementando la capacidad operativa sin comprometer la precisión (Ferrão et al., 2023; Zhang et al., 2020).

Además, la IA asegura altos niveles de calidad y consistencia en productos sometidos a estrictas evaluaciones. Herramientas como redes neuronales y sistemas de visión por computadora permiten realizar evaluaciones continuas y precisas, superando las limitaciones de métodos tradicionales (Wieme et al., 2022; Ghazal et al., 2024; Tan et al., 2018).

La sostenibilidad es otro aspecto destacado, ya que el análisis automatizado minimiza el desperdicio y optimiza el uso de insumos, promoviendo prácticas responsables. Esto no solo mejora la rentabilidad al hacer un uso eficiente de los recursos, sino que también reduce el impacto ambiental, un factor crucial en sectores como el agroindustrial (Ktenioudaki et al., 2021; Park et al., 2023; Huang et al., 2024).

En cuanto a precisión, la IA permite un análisis detallado que mejora significativamente la detección de defectos internos y externos mediante tecnologías como imágenes hiperespectrales y machine learning. Esto garantiza que solo productos de alta calidad lleguen al mercado, incrementando la satisfacción del consumidor y reduciendo devoluciones (Houhou & Bocklitz, 2021; Shicheng et al., 2021; Zhang et al., 2022).

Asimismo, la inteligencia artificial favorece el uso de métodos no destructivos en el control de calidad, lo que preserva la integridad de los productos durante las evaluaciones. Esto es especialmente crucial en la industria alimentaria y de exportación, asegurando que los productos lleguen a su destino en óptimas condiciones de frescura y calidad (Li et al., 2019).

Finalmente, la inteligencia artificial aporta valor mediante técnicas avanzadas de clasificación y selección, esenciales para evaluar con precisión la madurez de los productos. Estas tecnologías optimizan la selección y garantizan que solo los productos listos para el mercado sean procesados, maximizando la calidad en la cadena de suministro y satisfaciendo las expectativas de los consumidores en términos de frescura y sabor (Basri et al., 2018; Houhou & Bocklitz, 2021).

La relevancia de estas aplicaciones y beneficios de la inteligencia artificial en el control de calidad se detalla en la Tabla 4, donde se agrupan los estudios más destacados según su contribución específica.

Tabla N°5: Importancia de la inteligencia artificial en el control de calidad

Artículos	Importancia
(Ferrão et al., 2023 ; Haydar et al., 2023 ; Zhang et al., 2020)	Mejora de la eficiencia en procesos mediante automatización.
(Wieme et al., 2022 ; Ghazal et al., 2024 ; Tan et al., 2018)	Aseguramiento de calidad y consistencia en control, mejorando uniformidad.
(Ktenioudaki et al., 2021 ; Park et al., 2023 ; Huang et al., 2024)	Fomento de la sostenibilidad al disminuir el desperdicio de productos.
(Houhou & Bocklitz, 2021; Shicheng et al., 2021; Zhang et al., 2022)	Precisión mejorada en la detección de defectos y control de calidad.
(Li et al., 2019)	Evaluación no destructiva para preservar integridad de productos.
(Basri et al., 2018 ; Zhang & Dai, 2022)	Técnicas avanzadas para clasificación y selección en etapas de madurez.

Fuente: Elaboración propia

3.4. Herramientas de inteligencia artificial utilizadas en el control de calidad del arándano

Las herramientas recurrentes utilizadas en el control de calidad del arándano observadas en los artículos incluyeron redes neuronales, algoritmos de visión por computadora, modelos de machine learning e imágenes hiperespectrales. Esto indica que las herramientas de inteligencia artificial utilizadas son bastante amplias.

Las imágenes hiperespectrales fueron una de las herramientas más utilizadas. Los estudios destacaron herramientas como, visión computarizada en combinación con la espectroscopía. Estas herramientas analizaron atributos de madurez, color y defectos en los arándanos, optimizaron la inspección rápida y precisa en línea (Wang et al., 2021; Li et al., 2019). Además, también se identificó que realizaron evaluaciones no destructivas en función de las características espectrales y espaciales en imágenes hiperespectrales (Wieme et al., 2022; Deng et al., 2024; Shicheng et al., 2021).

Otras herramientas utilizadas fueron las redes neuronales, especialmente redes neuronales convolucionales y redes totalmente convolucionales. Estas herramientas fueron utilizadas para evaluar la firmeza, segmentar áreas magulladas internas, evaluar la textura y defectos de los arándanos para diferenciar entre arándanos sanos y dañados (Zhang et al., 2020; Park et al., 2023; Wang et al., 2024; Mu et al., 2020).

También se detectaron algoritmos de visión por computadora, como se detalla en el artículo (Ghazal et al., 2024), utilizados en sistemas de visión asistida para la cosecha de arándanos. Por ejemplo, YOLOv4-tiny detectó la altura de los arándanos y ajustó el sistema de recolección en función de una medida establecida, aplicado al proceso de selección (Haydar et al., 2023). Además, se implementó la plataforma TensorFlow junto con MobileNet, para clasificar de manera rápida y precisa en tiempo real los arándanos (Basri et al., 2018).

Aunque no fueron utilizados en el proceso de selección e inspección, se utilizaron modelos de regresión, como árboles de regresión mejorada. Se observa que estos árboles de regresión mejorada permitieron monitorear la pérdida de peso y la firmeza de los arándanos durante la cadena de suministro (Ktenioudaki et al., 2021). Además, se utilizaron redes neuronales artificiales y el algoritmo genético de ordenamiento no dominado-II para optimizar el proceso de secado, asegurar objetivos de calidad y reducir tiempos de procesamiento (Zhang et al., 2022).

La variedad de herramientas de inteligencia artificial utilizadas en el control de calidad del arándano, junto con sus propósitos específicos, se presenta en la Tabla 5. Esta tabla sistematiza cómo cada tecnología contribuye a diversas etapas del proceso de evaluación, desde la detección rápida y no destructiva de defectos hasta la optimización de procesos como el secado y la clasificación en tiempo real.

Tabla N°6: Herramientas de inteligencia artificial identificadas en el control de calidad del arándano

Artículos	Herramientas	Propósito
(Wieme et al., 2022; Deng et al., 2024; Shicheng et al., 2021; Wang et al., 2021; Li et al., 2019)	Imágenes hiperespectrales	Análisis de madurez, color y detección de defectos; optimización de inspección rápida y precisa; evaluación no destructiva
(Park et al., 2023 ; Wang et al., 2024)	Redes neuronales convolucionales (CNN)	Evaluación de firmeza, textura y defectos en arándanos; clasificación entre arándanos sanos y dañados
(Mu et al., 2020; Zhang et al., 2020)	Redes totalmente convolucionales (FCN)	Segmentación de áreas magulladas y tejido del arándano para identificar su calidad interna
(Haydar et al., 2023; Ghazal et al., 2024; Basri et al., 2018)	Algoritmos de visión por computadora You Only Look Once V4 (YOLO V4-tiny), MobileNet	Detección y clasificación rápida en tiempo real; ajuste del sistema de recolección según la altura y condiciones de los arándanos
(Deng et al., 2024; Shicheng et al., 2021)	Modelos de machine learning	Evaluación espectral y espacial en imágenes hiperespectrales para diferenciación de arándanos sanos y defectuosos
(Ktenioudaki et al., 2021; Zhang et al., 2022)	Modelos de regresión, árboles de regresión mejorada y redes neuronales artificiales	Monitoreo de pérdida de peso y firmeza durante la cadena de suministro; optimización del proceso de secado

Fuente: Elaboración propia

3.5. Proceso de inspección y selección en el control de calidad del arándano

El análisis de los estudios seleccionados mostró la importancia de los procesos de inspección y selección en el control de calidad de los arándanos, mejorando la recolección y reducción de pérdidas durante el proceso inicial de recolección. Por ejemplo, se implementaron sistemas de visión por computadora asistido con deep learning para ajustar automáticamente la altura del cabezal de recolección, se aseguró que los arándanos sean recogidos de manera eficiente, sin dañar los frutos (Haydar et al., 2023; Basri et al., 2018).

Otro aspecto crítico observado fue la detección temprana de magulladuras mediante redes neuronales y tecnologías de imagen hiperespectral. Estas herramientas permitieron evitar la comercialización de arándanos dañados, asegurando que solo frutos en

buen estado llegaran al consumidor y reduciendo las pérdidas económicas asociadas con la selección de frutas propensas a un rápido deterioro (Zhang et al., 2020; Park et al., 2023; Wang et al., 2024). Además, las tecnologías de imagen hiperespectrales permitieron una evaluación precisa de la firmeza de los frutos. Estos tipos de inspección no destructiva aseguraron que los frutos de alta calidad fueran seleccionados para su distribución; se prolongó su vida útil y mejoró la satisfacción del cliente (Deng et al., 2024; Shicheng et al., 2021; Wang et al., 2021; Li et al., 2019).

Asimismo, la aplicación de inteligencia artificial en la segmentación de características de los arándanos, como el análisis de pigmentos de la piel y el contenido interno de los frutos, permitió evaluar su frescura y calidad. A partir de indicadores internos se seleccionaron solo los frutos que cumplieran con altos estándares de calidad para su comercialización (Mu et al., 2020).

Las inspecciones avanzadas que utilizaron técnicas de visión por computadora permitieron detectar los cambios de madurez y defectos físicos de los frutos sin afectarlos. Por ejemplo, Tan et al. (2018) reportaron el uso de técnicas de visión por computadora para clasificar arándanos en diferentes etapas de madurez, asegurando que solo los arándanos adecuadamente maduros fueran recolectados y distribuidos.

La Tabla 6 resume la importancia de las tecnologías utilizadas en los procesos de inspección y selección del control de calidad del arándano. Estas tecnologías aseguran una recolección eficiente, una selección precisa de frutos de alta calidad, y una distribución optimizada basada en el nivel de madurez y las condiciones internas del producto.

Tabla N°7: Importancia en los procesos de inspección y selección

Artículos	Importancia
(Haydar et al., 2023; Basri et al., 2018)	Ajustar de manera automática la altura del recolector; mayor eficiencia sin dañar los arándanos
(Zhang et al., 2020 ; Park et al., 2023 ; Wang et al., 2024)	Evitar la comercialización de frutos dañados; seleccionar frutos menos propensos a deterioro
(Deng et al., 2024; Shicheng et al., 2021; Wang et al., 2021; Li et al., 2019)	Prolongar la vida útil de frutos de alta calidad, mejorar la satisfacción del cliente
(Mu et al., 2020)	Seleccionar frutos que cumplan con altos estándares de calidad
(Tan et al., 2018)	Seleccionar frutos en el punto óptimo de madurez, garantizar la distribución de frutos maduros

Fuente: Elaboración propia

3.6. Desafíos en la integración de sistemas de inteligencia artificial

Para que los modelos de inteligencia artificial (IA) sean efectivos, es crucial contar con datos de alta calidad y consistencia. Los estudios de Haydar et al. (2023), Ktenioudaki et al. (2021) y Mu et al. (2020) indican que la falta de datos suficientes o la variabilidad en los mismos limita el rendimiento y precisión de los algoritmos, dificultando su implementación exitosa en el control de calidad. Además, los altos costos asociados con equipos especializados, como sistemas de imagen hiperespectral, y el procesamiento intensivo de datos representan barreras significativas (Deng et al., 2024; Huang et al., 2024; Zhang et al., 2020).

Por otro lado, la integración de tecnologías de IA con sistemas existentes presenta desafíos técnicos considerables. Los estudios de Basri et al. (2018), Ghazal et al. (2024) y Shicheng et al. (2021) destacan que la combinación de diferentes tecnologías y la necesidad de sistemas en tiempo real implican la búsqueda de soluciones complejas, lo que puede retrasar o complicar su implementación efectiva.

Asimismo, se destaca la necesidad de personal capacitado con habilidades especializadas para manejar y mantener sistemas de inteligencia artificial. Según Houhou y Bocklitz (2021), Park et al. (2023) y Zhang y Dai (2022), la falta de formación adecuada puede limitar la eficiencia y eficacia de estas tecnologías, lo que subraya la importancia de invertir en capacitación y en el desarrollo de competencias técnicas. Por otra parte, la resistencia al cambio dentro de las organizaciones puede dificultar la adopción de nuevas tecnologías (Ferrão et al., 2023; Wang et al., 2024).

Además, la escalabilidad de las soluciones de inteligencia artificial y la complejidad computacional asociada con procesos avanzados representan desafíos adicionales. Los estudios de Ktenioudaki et al. (2022) y Li et al. (2019) indican que, a medida que se busca ampliar el uso de estas tecnologías, las limitaciones en la capacidad de procesamiento y adaptación a mayores volúmenes de datos pueden restringir su efectividad. Asimismo, factores externos como las condiciones ambientales pueden influir negativamente en la precisión de los modelos de inteligencia artificial. Las investigaciones Niedbała et al. (2022) y Tan et al. (2018) muestran que variaciones en iluminación o condiciones climáticas afectan la calidad de los datos de entrada, reduciendo la exactitud y generalización de los algoritmos utilizados.

Asimismo, el manejo de datos genéticos presenta desafíos únicos debido a su complejidad y volumen. El artículo de Ferrão et al. (2023) resalta que se requiere el desarrollo de algoritmos avanzados y potentes capacidades de procesamiento para analizar y extraer información útil, lo que puede ser técnicamente demandante. Por último, la implementación exitosa de IA en control de calidad a menudo exige el uso de algoritmos sofisticados. El estudio de Wieme et al. (2022) señala que la disponibilidad limitada de estos algoritmos y la necesidad de desarrollarlos específicamente para ciertas aplicaciones pueden ser obstáculos significativos.

La Tabla 7 sintetiza los principales desafíos identificados en la integración de sistemas de inteligencia artificial en el control de calidad del arándano. Estos incluyen limitaciones en la calidad y cantidad de datos, altos costos de implementación, necesidad de personal capacitado, resistencia organizacional al cambio, y problemas técnicos como la escalabilidad y complejidad computacional.

Tabla N°8: Desafíos en la integración de sistemas de inteligencia artificial

Artículos	Desafíos
(Haydar et al., 2023 ; Ktenioudaki et al., 2021 ; Mu et al., 2020)	Disponibilidad y calidad de datos limitan la efectividad de los modelos de inteligencia artificial.
(Deng et al., 2024; Huang et al., 2024 ; Zhang et al., 2020)	Altos costos de implementación en equipos y procesamiento de datos
(Basri et al., 2018 ; Ghazal et al., 2024; Shicheng et al., 2021)	Complejidad técnica en la integración de sistemas y tecnologías.
(Houhou & Bocklitz, 2021 ; Park et al., 2023; Zhang & Dai, 2022)	Necesidad de habilidades especializadas y capacitación técnica
(Wang et al., 2022 ; Wang et al., 2024)	Oposición organizacional al cambio y adopción de nuevas tecnologías.
(Li et al., 2019; Zhang et al., 2022)	Problemas de escalabilidad y complejidad computacional en procesos avanzados.
(Ferrão et al., 2023; Wieme et al., 2022)	Complejidad en el manejo de datos y necesidad de algoritmos avanzados

Fuente: Elaboración propia

4. Discusión

En esta revisión sistemática, se ha consolidado el conocimiento sobre la importancia de la inteligencia artificial en el control de calidad de arándanos, subrayando cómo la inteligencia artificial permite una inspección precisa y una mejora en la calidad del producto final (Wieme et al., 2022; Tan et al., 2018). Estudios clave destacan que, al automatizar procesos, la IA contribuye significativamente a la eficiencia y sostenibilidad, alineándose con la necesidad de reducir desperdicios y optimizar recursos (Ktenioudaki et al., 2021; Huang et al., 2024). Esta tecnología es esencial para mejorar la competitividad de productos perecederos en mercados internacionales, cumpliendo con estándares de calidad rigurosos.

Por otro lado, se identificaron varias herramientas de inteligencia artificial utilizadas en el control de calidad de arándanos, como la visión por computadora y las redes neuronales convolucionales, que permiten detectar defectos y evaluar atributos de madurez y firmeza sin dañar el producto (Haydar et al., 2023; Park et al., 2023; Wang et al., 2024). La implementación de estas herramientas ha mostrado efectividad en la

selección y clasificación de frutos de alta calidad, asegurando que solo los productos óptimos lleguen al mercado.

Asimismo, el proceso de inspección y selección en el control de calidad resulta fundamental. Al aplicar técnicas avanzadas de inteligencia artificial, como las imágenes hiperespectrales, se facilita una evaluación más precisa y no destructiva de la calidad del fruto. Esto asegura una mayor vida útil del producto y responde a las expectativas del consumidor en términos de frescura y calidad (Tan et al., 2018).

Finalmente, se abordaron los desafíos en la integración de sistemas de IA, incluyendo la disponibilidad de datos de alta calidad, los costos elevados de implementación y la necesidad de habilidades técnicas especializadas (Basri et al., 2018; Haydar et al., 2023; Ktenioudaki et al., 2021; Zhang et al., 2020). Estos factores limitan la adopción de la IA en algunas empresas y resaltan la importancia de invertir en capacitación y en la infraestructura tecnológica necesaria para aprovechar al máximo el potencial de la IA en el control de calidad de arándanos.

En la actualidad el avance vertiginoso de la tecnología implica grandes cambios y mejoras en el control de calidad. Se plantea integrar la inteligencia artificial con el internet de las cosas (IoT), a diferencia de los artículos observados que se centran en el análisis interno o superficial del arándano mediante el uso de herramientas de inteligencia artificial a partir de datos obtenidos por equipos de detección avanzada, imágenes hiperespectrales y térmicas, se utilizan sensores IoT (Internet de las cosas) que permiten recopilar datos en tiempo real sobre las condiciones del ambiente, tales como la temperatura y humedad durante las diferentes etapas (cultivo, cosecha, almacenamiento) del proceso de producción. La combinación de estos datos combinados con herramientas de inteligencia artificial posibilita un monitoreo preciso y continuo de la calidad del arándano. Se optimizan las condiciones del proceso de producción para reducir deterioros y pérdidas poscosecha.

Otro avance interesante es la aplicación de la inteligencia artificial en la mejora genética del arándano. A partir del análisis de grandes volúmenes de datos genómicos, se puede identificar características genéticas que contribuyen a mejorar la calidad del fruto, como la firmeza, valor nutricional y resistencia a enfermedades. Esto abre un camino lleno de nuevas posibilidades en la que los científicos pueden desarrollar nuevas variedades de arándanos que no solo sean de alta calidad, sino también más resistentes y sostenibles.

5. Conclusiones

La aplicación de inteligencia artificial produce un impacto positivo en los procesos de inspección y selección para mejorar el control de calidad de los arándanos. La inteligencia artificial mejora el control de calidad de arándanos al hacer más precisa y rápida la detección de defectos, garantizando que solo los frutos de alta calidad lleguen al mercado. Esto optimiza la eficiencia y fortalece la competitividad en mercados internacionales.

La inteligencia artificial es clave en el control de calidad de los arándanos, ya que permite automatizar y hacer más precisos los procesos de inspección. Utilizando visión por computadora y redes neuronales, la IA optimiza tiempos y reduce errores, mejorando la competitividad, clasificación y selección de arándanos para cumplir con los altos estándares de calidad.

Las herramientas de inteligencia artificial en el control de calidad de los arándanos incluyeron imágenes hiperspectrales, redes neuronales, visión computarizada, deep learning, machine learning permitiendo inspecciones no destructivas y precisas de atributos clave como madurez, firmeza y defectos superficiales e internos. Además, los modelos de regresión y optimización mejoraron el monitoreo de calidad en la cadena de suministro, asegurando frutos de alta calidad.

El análisis de los estudios mostró que los procesos de inspección y selección, apoyados en herramientas de IA como visión computarizada y redes neuronales, optimizaron la recolección de arándanos y redujeron pérdidas. La detección temprana de defectos y la evaluación precisa de atributos como firmeza y madurez aseguraron que solo los frutos de alta calidad llegaran al consumidor, prolongando su vida útil y mejorando la satisfacción del cliente.

La integración de sistemas de inteligencia artificial en el control de calidad de los arándanos enfrenta varios desafíos significativos. Uno de los principales es la necesidad de datos de alta calidad y consistentes para asegurar el rendimiento óptimo de los modelos de IA, ya que la variabilidad en los datos puede limitar la precisión de los algoritmos. También se presentan obstáculos financieros, pues el costo de los equipos especializados y el procesamiento intensivo de datos resultan elevados. A nivel técnico, la complejidad de integrar diversas tecnologías en tiempo real y la falta de personal capacitado dificultan la adopción eficaz de estos sistemas.

6. Literatura citada

- BASRI, H., SYARIF, I., & SUKARIDHOTO, S. (2018). FASTER R-CNN IMPLEMENTATION METHOD FOR MULTI-FRUIT DETECTION USING TENSORFLOW PLATFORM. 2018 INTERNATIONAL ELECTRONICS SYMPOSIUM ON KNOWLEDGE CREATION AND INTELLIGENT COMPUTING (IES-KCIC), 337–340. [HTTPS://DOI.ORG/10.1109/KCIC.2018.8628566](https://doi.org/10.1109/KCIC.2018.8628566)
- DENG, B., LU, Y., & STAFNE, E. (2024). FUSING SPECTRAL AND SPATIAL FEATURES OF HYPERSPECTRAL REFLECTANCE IMAGERY FOR DIFFERENTIATING BETWEEN NORMAL AND DEFECTIVE BLUEBERRIES. SMART AGRICULTURAL TECHNOLOGY, 8(100473), 100473. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ATECH.2024.100473](https://doi.org/10.1016/J.ATECH.2024.100473)
- FERRÃO, L. F. V., DHAKAL, R., DIAS, R., TIEMAN, D., WHITAKER, V., GORE, M. A., MESSINA, C., & RESENDE, M. F. R., JR. (2023). MACHINE LEARNING APPLICATIONS TO IMPROVE FLAVOR AND NUTRITIONAL CONTENT OF HORTICULTURAL CROPS THROUGH BREEDING AND GENETICS. CURRENT OPINION IN BIOTECHNOLOGY, 83(102968), 102968. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.COP-BIO.2023.102968](https://doi.org/10.1016/J.COP-BIO.2023.102968)
- GHAZAL, S., MUNIR, A., & QURESHI, W. S. (2024). COMPUTER VISION IN SMART AGRICULTURE AND PRECISION FARMING: TECHNIQUES AND APPLICATIONS. ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AGRICULTURE, 13, 64–83. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.AIIA.2024.06.004](https://doi.org/10.1016/J.AIIA.2024.06.004)
- HAYDAR, Z., ESAU, T. J., FAROOQUE, A. A., ZAMAN, Q. U., HENNESSY, P. J., SINGH, K., & ABBAS, F. (2023). DEEP LEARNING SUPPORTED MACHINE VISION SYSTEM TO PRECISELY AUTOMATE THE WILD BLUEBERRY HARVESTER HEADER. SCIENTIFIC REPORTS, 13(1), 10198. [HTTPS://DOI.ORG/10.1038/s41598-023-37087-z](https://doi.org/10.1038/s41598-023-37087-z)
- HOUHOU, R., & BOCKLITZ, T. (2021). TRENDS IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE, MACHINE LEARNING, AND CHEMOMETRICS APPLIED TO CHEMICAL DATA. ANALYTICAL SCIENCE ADVANCES, 2(3–4), 128–141. [HTTPS://DOI.ORG/10.1002/ANSA.202000162](https://doi.org/10.1002/ANSA.202000162)
- HUANG, W., XIA, J., LI, N., ZHU, H., & ZHANG, X. (2024). IMPROVEMENT OF A FLEXIBLE MULTIMODE PRESSURE-STRAIN SENSOR (FMPSS) FOR BLUEBERRY FIRMNESS TACTILE SENSING AND TAMPER-EVIDENT PACKAGING. FOOD CONTROL, 156(110129), 110129. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.FOODCONT.2023.110129](https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2023.110129)
- KTENIOUDAKI, A., O'DONNELL, C. P., EMOND, J. P., & DO NASCIMENTO NUNES, M. C. (2021). BLUEBERRY SUPPLY CHAIN: CRITICAL STEPS IMPACTING FRUIT QUALITY AND APPLICATION OF A BOOSTED REGRESSION TREE MODEL TO PREDICT WEIGHT LOSS. POSTHARVEST BIOLOGY AND TECHNOLOGY, 179(111590), 111590. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.POSTHARVBIO.2021.111590](https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2021.111590)
- LI, S., LUO, H., HU, M., ZHANG, M., FENG, J., LIU, Y., DONG, Q., & LIU, B. (2019). OPTICAL NON-DESTRUCTIVE TECHNIQUES FOR SMALL BERRY FRUITS: A REVIEW. ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AGRICULTURE, 2, 85–98. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.AIIA.2019.07.002](https://doi.org/10.1016/J.AIIA.2019.07.002)

- LIU, H., QIN, S., SIROHI, R., AHLUWALIA, V., ZHOU, Y., SINDHU, R., BINOD, P., RANI SINGHIA, R., KUMAR PATEL, A., JUNEJA, A., KUMAR, D., ZHANG, Z., KUMAR, J., TAHERZADEH, M. J., & KUMAR AWASTHI, M. (2021). SUSTAINABLE BLUEBERRY WASTE RECYCLING TOWARDS BIOREFINERY STRATEGY AND CIRCULAR BIOECONOMY: A REVIEW. *BIORESOURCE TECHNOLOGY*, 332(125181), 125181. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.BIORTECH.2021.125181](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125181)
- MONTES NINAQUISPE, J. C., LIZANA GUEVARA, N. P., CHAVESTA PAICO, S. J., CORONEL BENITES, C. V., CHOMBO JACO, J. A., ARIAS GONZALES, H. P., & MORÁN SANTAMARÍA, R. O. (2024). DIVERSIFICATION OF MARKETS AND ENTERPRISES IN THE EXPORTATION OF PERUVIAN BLUEBERRIES. *PROCEEDINGS OF THE 22ND LACCEI INTERNATIONAL MULTI-CONFERENCE FOR ENGINEERING, EDUCATION AND TECHNOLOGY (LACCEI 2024)*: “SUSTAINABLE ENGINEERING FOR A DIVERSE, EQUITABLE, AND INCLUSIVE FUTURE AT THE SERVICE OF EDUCATION, RESEARCH, AND INDUSTRY FOR A SOCIETY 5.0.” [HTTPS://DOI.ORG/10.18687/LACCEI2024.1.1.240](https://doi.org/10.18687/LACCEI2024.1.1.240)
- MONTES NINAQUISPE, J. C., PANTALEÓN SANTA MARÍA, A. L., LUDEÑA JUGO, D. A., CASTRO MUÑOZ, W. T., FARIAS RODRIGUEZ, J. C., MACO ELERA, B. H., & VASQUEZ HUATAY, K. C. (2024). PERUVIAN AGRO-EXPORTS’ COMPETITIVENESS: AN ASSESSMENT OF THE EXPORT DEVELOPMENT OF ITS MAIN PRODUCTS. *ECONOMIES*, 12(6), 156. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/ECONOMIES12060156](https://doi.org/10.3390/economies12060156)
- MU, C., YUAN, Z., OUYANG, X., SUN, P., & WANG, B. (2021). NON-DESTRUCTIVE DETECTION OF BLUEBERRY SKIN PIGMENTS AND INTRINSIC FRUIT QUALITIES BASED ON DEEP LEARNING. *JOURNAL OF THE SCIENCE OF FOOD AND AGRICULTURE*, 101(8), 3165–3175. [HTTPS://DOI.ORG/10.1002/JSFA.10945](https://doi.org/10.1002/jsfa.10945)
- NIEDBAŁA, G., KUREK, J., ŚWIDERSKI, B., WOJCIECHOWSKI, T., ANTONIUK, I., & BOBRAN, K. (2022). PREDICTION OF BLUEBERRY (*VACCINIUM CORYMBOSUM* L.) YIELD BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS. *AGRICULTURE*, 12(12), 2089. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/AGRICULTURE12122089](https://doi.org/10.3390/agriculture12122089)
- PAPADOPOULOS, G., ARDUINI, S., UYAR, H., PSIROUKIS, V., KASIMATI, A., & FOUNTAS, S. (2024). ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL BENEFITS OF DIGITAL AGRICULTURAL TECHNOLOGIES IN CROP PRODUCTION: A REVIEW. *SMART AGRICULTURAL TECHNOLOGY*, 8(100441), 100441. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ATECH.2024.100441](https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100441)
- PARK, B., SHIN, T., CHO, J.-S., LIM, J.-H., & PARK, K.-J. (2023). IMPROVING BLUEBERRY FIRMNESS CLASSIFICATION WITH SPECTRAL AND TEXTURAL FEATURES OF MICROSTRUCTURES USING HYPERSPECTRAL MICROSCOPE IMAGING AND DEEP LEARNING. *POSTHARVEST BIOLOGY AND TECHNOLOGY*, 195(112154), 112154. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.POSTHARVBIO.2022.112154](https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112154)
- SHICHENG, Q., YOUWEN, T., QINGHU, W., SHIYUAN, S., & PING, S. (2021). NONDESTRUCTIVE DETECTION OF DECAYED BLUEBERRY BASED ON INFORMATION FUSION OF HYPERSPECTRAL IMAGING (HSI) AND LOW-FIELD NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE (LF-NMR). *COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE*, 184(106100), 106100. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.COMPAG.2021.106100](https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106100)

- TAN, K., LEE, W. S., GAN, H., & WANG, S. (2018). RECOGNISING BLUEBERRY FRUIT OF DIFFERENT MATURITY USING HISTOGRAM ORIENTED GRADIENTS AND COLOUR FEATURES IN OUTDOOR SCENES. *BIOSYSTEMS ENGINEERING*, 176, 59–72. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2018.08.011](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.08.011)
- WANG, D., ZHANG, M., LI, M., & LIN, J. (2024). FRUITS AND VEGETABLES PRESERVATION BASED ON AI TECHNOLOGY: RESEARCH PROGRESS AND APPLICATION PROSPECTS. *COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE*, 226(109382), 109382. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.COMPAG.2024.109382](https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109382)
- WANG, D., ZHANG, M., MUJUMDAR, A. S., & YU, D. (2022). ADVANCED DETECTION TECHNIQUES USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PROCESSING OF BERRIES. *FOOD ENGINEERING REVIEWS*, 14(1), 176–199. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S12393-021-09298-5](https://doi.org/10.1007/s12393-021-09298-5)
- WIEME, J., MOLLAZADE, K., MALOUNAS, I., ZUDE-SASSE, M., ZHAO, M., GOWEN, A., ARGYROPOULOS, D., FOUNTAS, S., & VAN BEEK, J. (2022). APPLICATION OF HYPERSPECTRAL IMAGING SYSTEMS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR QUALITY ASSESSMENT OF FRUIT, VEGETABLES AND MUSHROOMS: A REVIEW. *BIOSYSTEMS ENGINEERING*, 222, 156–176. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2022.07.013](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.07.013)
- ZHANG, L., ZHANG, M., MUJUMDAR, A. S., & CHEN, Y. (2024). FROM FARM TO MARKET: RESEARCH PROGRESS AND APPLICATION PROSPECTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE FROZEN FRUITS AND VEGETABLES SUPPLY CHAIN. *TRENDS IN FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY*, 153(104730), 104730. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.TIFS.2024.104730](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104730)
- ZHANG, M., JIANG, Y., LI, C., & YANG, F. (2020). FULLY CONVOLUTIONAL NETWORKS FOR BLUEBERRY BRUISING AND CALYX SEGMENTATION USING HYPERSPECTRAL TRANSMITTANCE IMAGING. *BIOSYSTEMS ENGINEERING*, 192, 159–175. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2020.01.018](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.01.018)
- ZHANG, T., & DAI, F. (2022). *JOURNAL OF ROBOTICS NETWORKING AND ARTIFICIAL LIFE*, 9(3), 285–288. [HTTPS://DOI.ORG/10.57417/JRNAL.9.3_285](https://doi.org/10.57417/JRNAL.9.3_285)
- ZHANG, W., WANG, K., & CHEN, C. (2022). ARTIFICIAL NEURAL NETWORK ASSISTED MULTIOBJECTIVE OPTIMIZATION OF POSTHARVEST BLANCHING AND DRYING OF BLUEBERRIES. *FOODS (BASEL, SWITZERLAND)*, 11(21), 3347. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/FOODS11213347](https://doi.org/10.3390/foods11213347)

Optimización y personalización de la experiencia: el rol de la inteligencia artificial en negocios digitales

Srta. Karen Sugeily Delgado Torres
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: karen.delgado@unmsm.edu.pe

Resumen: El objetivo del estudio es determinar la relación entre la personalización de la experiencia y la fidelización de clientes, en un contexto en el cual los negocios digitales crecen incesantemente y los datos se acumulan en volúmenes descomunales. Esta coyuntura trae nuevos retos de la tecnología que nos permita cumplir con la promesa de entrega del servicio en tiempo y forma. Para ello, este estudio repasará conceptos como big data, el flujo de procesamiento de datos y las principales herramientas de uso. También se revisará conceptos como machine learning y analítica predictiva, como nuevas tecnologías que permiten analizar los datos de los clientes, sacar patrones y aprender automáticamente según el modelo establecido por parte del negocio. Con esta información se puede diseñar experiencias personalizadas por segmentos de clientes y anticiparse a las necesidades de los usuarios, lo que contribuirá en la satisfacción y fidelización de los usuarios.

Palabras claves: Negocios digitales/ Personalización/ Experiencia/ Machine learning/ Analítica predictiva/ Fidelización/ Big data.

Abstract: The objective of the study is to determine the relationship between the personalization of the experience and customer loyalty, in a context in which digital businesses grow incessantly and data accumulates in enormous volumes. This situation brings new technological challenges that allow us to fulfill the promise of service delivery in a timely manner. To do this, this study will review concepts such as big data, the data processing flow and the main tools of use. Concepts such as machine learning and predictive analytics will also be reviewed, as new technologies that allow analyzing customer data, extracting patterns and learning automatically according to the model established by the business. With this information, personalized experiences can be designed by customer segments and anticipate user needs, which will contribute to user satisfaction and loyalty.

Key words: Digital business/ Personalization/ Customer experience/ Machine learning/ Predictive analytics/ Loyalty/ Big data.

Résumé: L'objectif de l'étude est de déterminer la relation entre la personnalisation de l'expérience et la fidélisation des clients, dans un contexte où les entreprises numériques se développent sans cesse et où les données s'accumulent en énormes volumes. Cette situation entraîne de nouveaux défis technologiques qui nous permettent de tenir la promesse de prestation de services dans les meilleurs délais. Pour ce faire,

cette étude passera en revue des concepts tels que le big data, le flux de traitement des données et les principaux outils d'utilisation. Des concepts tels que l'apprentissage automatique et l'analyse prédictive seront également revus, en tant que nouvelles technologies permettant d'analyser les données des clients, d'en extraire des modèles et d'apprendre automatiquement selon le modèle établi par l'entreprise. Grâce à ces informations, des expériences personnalisées peuvent être conçues par segments de clientèle et anticiper les besoins des utilisateurs, ce qui contribuera à leur satisfaction et à leur fidélité.

Mots-clés: Entreprise numérique/ Personnalisation/ Expérience client/ Apprentissage automatique/ Analyse prédictive/ Fidélisation/ Big data.

1. Introducción

La definición clásica de logística nos habla de un sistema que asegura la entrega de los productos y servicios de la forma correcta y en el momento en que el cliente lo precise (Bowersox, Closs, y Cooper, 2007). Con la llegada del internet, los negocios migraron a ser digitales y los datos se multiplicaron por millones. La logística tradicional no bastaba para garantizar que la entrega se cumpliera en tiempo y forma. El reto no es cómo conseguir toda esta información de los clientes, sino qué hacer con toda esta gran cantidad de datos. Es por ello que ahora debemos hablar del consumo de la big data y del uso de la inteligencia artificial en el contexto de los e-business (Lourenço, 2005).

La producción de inmensas cantidades de información se vuelve inútil si no crean valor para las empresas. Todos los días se crean datos estructurados y no estructurados sobre el comportamiento y preferencias de los clientes. Big data tiene tres características principales (Pizarro, Rodríguez, Rodríguez, y Calzada, 2020):

- Volumen: por la enorme cantidad de información que se crea todos los días.
- Velocidad: por la gran rapidez con que se crean los datos.
- Variedad: se refiere a los diversos formatos de información estructurada y no estructurada que existen.

Este Big data se procesa para obtener información de valor para la empresa y tomar decisiones inteligentes sobre el negocio, que permita cumplir con el servicio digital en tiempo y forma hacia el cliente.

Es por ello que se propone este artículo que busca explicar cómo la big data y la inteligencia artificial logran cumplir con una experiencia personalizada en negocios digitales. En tal sentido, el presente documento está dividido de la siguiente forma. En el capítulo 1 mostraremos las preguntas y objetivos del estudio. En el capítulo 2 desarrollaremos la metodología con la muestra analizada, donde se busca evidenciar los resultados. El capítulo 3 presenta los resultados de la recopilación analizada.

Problema general:

¿Cuál es el impacto de la IA en la personalización de la experiencia de un negocio digital para la fidelización de sus clientes?

Problemas específicos:

- ¿Cómo se puede gestionar enormes cantidades de información en un negocio digital?
- ¿Cómo puede la IA contribuir a la personalización de la experiencia?
- ¿La IA puede mantener la fidelización de los clientes en los negocios digitales?

Objetivo general:

Identificar el impacto de la IA en la personalización de la experiencia de un negocio digital para la fidelización de sus clientes

Objetivos específicos:

- Identificar la forma en que se utiliza para gestionar grandes cantidades de información en los negocios digitales.
- Determinar la contribución de la IA a la personalización de la experiencia
- Demostramos que la IA puede mantener la fidelización de los clientes en negocios digitales

2. Metodología

La metodología PICOC es una herramienta muy utilizada para estructurar y enfocar una investigación, debido a que te aporta claridad y relevancia en el tema que quieres desarrollar.

Según ello, se formuló la siguiente pregunta: ¿Cuál es el impacto de la IA en la personalización de la experiencia de un negocio digital para la fidelización de sus clientes?

2.1. Palabras claves

Siguiendo la estructura PICOC, se clasificaron las palabras de la siguiente manera:

Tabla N°1: Estrategia de acrónimo PICOC

Código	Palabras clave en español	Palabras clave en inglés
P	Negocio digital	Digital business
I	Inteligencia artificial, big data	Artificial intelligence, big data
C	-	-
O	Fidelización de clientes, experiencia del cliente, personalización de la experiencia	Customer loyalty, customer experience, personalization customer experience
C	Negocio digital	Digital business

Nota. La siguiente tabla muestra la metodología PICOC utilizada para la RSL.

Fuente: Elaboración propia

2.2. Ecuación de búsqueda

La búsqueda realizada para esta investigación fue con la siguiente combinación:

("customer loyalty" OR "customer experience" OR "personalization customer experience") AND ("digital business") AND ("artificial intelligence" OR "big data") AND ("digital business").

2.3. Criterios de inclusión y exclusión de los artículos científicos

Los criterios seleccionados para esta investigación son:

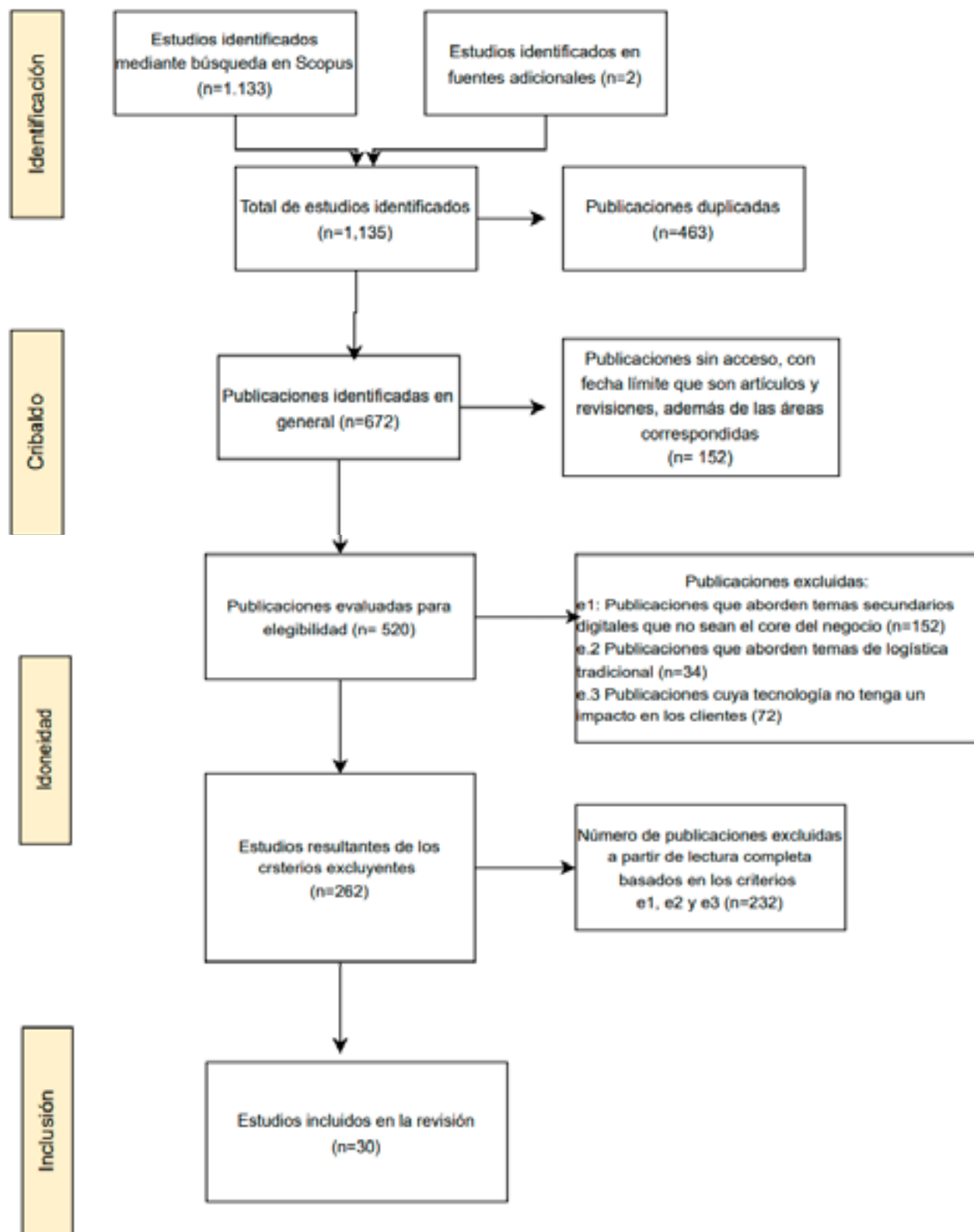
Tabla N°2: Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
i.1 Publicación que asegure la entrega del servicio principal del negocio digital	e.1 Publicaciones que aborden temas secundarios digitales que no sean el core del negocio.
i.2 Publicaciones que expliquen el impacto de la inteligencia artificial	e.2 Publicaciones que aborden temas de logística tradicional
i.3 Publicaciones que midan el impacto en la fidelización de clientes	e.3 Publicaciones cuya tecnología no tenga un impacto en los clientes

Fuente: Elaboración propia

2.4. Descripción del proceso de selección

- **Resultados obtenidos del proceso de búsqueda de literatura científica:** La búsqueda de la ecuación en la base de datos de Scopus dio un resultado de 1,133 publicaciones que abordan el tema de la inteligencia artificial y los negocios. Entre esta recopilación, se procedió a seleccionar los artículos que se usarán para este estudio.
- **Descripción de la lógica de selección considerada:** Para la recolección de artículos a analizar se consideran las inclusiones y exclusiones que se detallan líneas arriba. Además se excluyen los estudios que tengan una antigüedad mayor a cinco años.
- **Descripción detallada del proceso de selección y sus resultados:** El diagrama PRISMA es una herramienta muy útil para la investigación científica que permite tener una visión clara y rigurosa del objeto a analizar.

Figura N°1: Matriz prisma

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3: Aportes seleccionados

N	Año	Autores	Título	Aporte	País
1	2023	Ifekanandu, Christian. Ane-ne, J.Iloka, Ch. Ewuzie, C.	<u>Influence of artificial intelligence (AI) on customer experience and loyalty: mediating role of personalization</u>	Se concluyó que las empresas que buscan desarrollar una fuerte lealtad y experiencia del cliente deben integrar la inteligencia artificial en su proceso de entrega de productos y servicios, y esto debería ser compatible con la personalización.	Nigeria
2	2024	Badhon Banik. Subrata Banik. Raiyana Rezwana Annee	AI - Driven strategies for enhancing customer loyalty and engagement through personalization and predictive analytics	La IA brinda a las empresas el poder de manejar y analizar enormes conjuntos de datos en tiempo real, brindándoles información procesable para aumentar la lealtad del consumidor. Al adoptar la IA, las organizaciones pueden comprender los comportamientos de los clientes a un nivel granular, brindando servicios más personalizados y eficientes que conducen a un mejor compromiso y felicidad.	Bangladesh
3	2021	Wielgos, D. Homburg, Ch. Kuehn, Ch.	Digital business capability: its impact on firm and customer performance	Los resultados muestran que las capacidades de los negocios digitales mejoran el rendimiento empresarial, incluso más allá de otros factores establecidos. Además, tienen un impacto mayor en el rendimiento de la empresa cuando se alcanza un nivel crítico de dinamismo interno y se benefician de un nivel óptimo de dinamismo externo.	Alemania

4	2019	Medvedeva, A	Artificial intelligence as a new tool for growth of innovation and competitiveness of the digital business	El documento detalla el contenido económico del negocio digital como el crecimiento económico de las empresas industriales rusas y la economía en general. Se destacan características específicas del concepto de negocio digital moderno. El documento considera los resultados del negocio digital que contribuyen al crecimiento del conocimiento y la reducción de los costos de transacción, atrayendo clientes potenciales y reteniéndolos como consumidores; define el papel de la tecnología digital; identifica los principales enfoques metodológicos del concepto de inteligencia artificial (IA); se enfatiza que la IA no tiene percepción del tiempo; revela características específicas de AI como un nuevo tipo de modelo de negocio digital.	Suecia
5	2024	Nathalie, J., Jacqueline, G., Yusuf, N. A., & Ming, L	Optimizing digital business processes through artificial intelligence: a case study in e-commerce systems	La investigación valida el papel de la IA en la mejora de la eficiencia operativa, la satisfacción del cliente y las prácticas de sostenibilidad. Los hallazgos confirman que la automatización de procesos impulsada por IA y el análisis predictivo mejoran significativamente la eficiencia operativa, especialmente en áreas como la gestión de inventarios y los procesos de toma de decisiones.	Colombia, Estonia, Indonesia, Singapore
6	2024	Helisia, M.	Business development in the digital age	La investigación muestra que las tecnologías digitales transforman el desarrollo empresarial. A pesar de los desafíos, los beneficios superan los inconvenientes, haciendo de la transformación digital una necesidad estratégica. Las empresas que adoptan herramientas digitales pueden crecer, mejorar la participación del cliente y aumentar la eficiencia operativa.	Indonesia
7	2022	Pratyush, K.	Navigating the digital wave: transformative strategies in modern business with the integration of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML)	La transformación digital, impulsada por la IA y el ML, está redefiniendo las estrategias empresariales y la eficiencia operativa. Este estudio analiza la evolución histórica, tendencias actuales y futuras, destacando desafíos y oportunidades. Además, presenta casos de éxito y mejores prácticas para la sostenibilidad y el crecimiento empresarial.	EE. UU.

8	2022	Meepung, T.	Artificial intelligence for digital business performance	La inteligencia artificial (IA) mejora el rendimiento empresarial digital al comprender profundamente las necesidades de los consumidores y conectar ventas con publicidad. Las tecnologías de marketing en redes sociales son flexibles y personalizables, ayudando a las empresas a formular estrategias efectivas. Además, la IA en marketing y chatbots fortalece la relación con los clientes y mejora el servicio al cliente, siendo una inversión creciente para muchas empresas.	Tailandia
9	2016	Kukkonen, E.	Gaining more value from customer relationships in the digital business environment	Este estudio se enfoca en la gestión del valor del cliente (CVM) y cómo las empresas pueden mejorar estas relaciones para aumentar su valor. Además, ofrece estrategias y mejores prácticas para gestionar eficazmente las relaciones con los clientes en línea	Finlandia
10	2022	Perifanis, N. Kitsios, F.	Investigating the influence of artificial intelligence on business value in the digital era of strategy: a literature review	Este estudio destaca cómo la IA puede integrarse con las estrategias empresariales y de TI para facilitar la transformación digital y crear nuevas oportunidades. La IA no es solo una herramienta, sino una fuerza que puede redefinir la naturaleza de una organización. Las empresas deben estar dispuestas a experimentar y cuestionar las normas establecidas para aprovechar al máximo el potencial de la IA y obtener una ventaja competitiva.	Grecia
11	2024	Cam, C. R.	Big data en el mundo del retail: segmentación de clientes y sistema de recomendación en una cadena de supermercados de Europa.	Este estudio revisa cómo utilizando el algoritmo k-medias, se agrupan los clientes en diferentes segmentos basados en características comunes. Esto permite a la empresa entender mejor los hábitos y preferencias de sus clientes. Además, este sistema personaliza las ofertas y recomendaciones de productos para los clientes, mejorando la experiencia de compra y aumentando la fidelización. Es importante definir adecuadamente el problema a resolver, utilizar correctamente la infraestructura de big data y realizar un análisis exploratorio exhaustivo de los datos.	Perú

12	2023	Hermitaño Castro, J. A.	Aplicación de machine learning en la gestión de riesgo de crédito financiero: una revisión sistemática.	El artículo aborda la evaluación de las ventajas y desventajas de implementar algoritmos de machine learning en la gestión de riesgos de crédito, identificando cuál ofrece mejor rendimiento y señalando sus desventajas.	Perú
13	2023	Llanes López, C., & Cruz García, C. de la C.	Breve reseña sobre el uso de machine learning para el procesamiento digital de señales en la actualidad.	El estudio habla sobre la incorporación de técnicas de machine learning en el procesamiento digital para el análisis de diagnósticos médicos. Este trabajo se centra en mostrar la situación actual del uso de estas técnicas de análisis de datos, enfocándose en sus principales características y los procedimientos más recientes de aplicación.	Cuba
13	2024	Manrique R., E.	Machine learning: análisis de lenguajes de programación y herramientas para desarrollo.	El artículo describe las aplicaciones comunes de ML, como la detección de correos no deseados, el reconocimiento de patrones en imágenes y las recomendaciones de productos en plataformas como Amazon. También se exploran los diferentes tipos de aprendizaje en ML: supervisado, no supervisado y por refuerzo, y cómo cada uno se aplica en distintos contextos.	México
14	2022	Mora Pineda, J.	Modelos predictivos en salud basados en aprendizaje de máquina (machine learning).	El artículo destaca la importancia de encontrar la causalidad en medicina a través de modelos estadísticos predictivos que impactan la práctica clínica. Con el aumento de datos y el poder computacional, las técnicas de aprendizaje de máquina son cruciales para el análisis predictivo y el reconocimiento de patrones. Estas técnicas mejoran la precisión y velocidad en la toma de decisiones clínicas.	Chile
15	2020	Ortega-Bastidas, J.	¿Cómo saturarnos los datos? Una propuesta analítica "desde" y "para" la investigación cualitativa.	Este artículo repasa el flujo de procesamiento para el análisis de datos desde un enfoque cualitativo y bajo dos criterios principales: la densidad y la autenticidad de la información.	Venezuela

16	2022	Osorio Castrillón, S.	Machine learning aplicado a la predicción y clasificación de la depresión, un enfoque hacia la gestión de la salud mental	El estudio repasa los modelos más utilizados en machine learning para predecir la depresión en la salud mental. Las variables clave incluyen neuroimágenes, síntomas depresivos, temperatura ambiental y datos sociodemográficos. Aunque existen escalas cualitativas para clasificar la depresión, carecen de la precisión de los modelos estadísticos rigurosos.	Colombia
17	2020	Rodríguez Gutiérrez, C.	La inteligencia artificial en el retail: optimización y mejora de experiencia de cliente.	Este estudio analiza las diferentes herramientas de IA como mecanismos para mejorar la experiencia de cliente en la industria del retail y el ecommerce.	España
18	2023	Sierra-Martínez, L. M., Tunubalá-Ramírez, J. A., y Peluffo Ordóñez, D. H.	Construcción de una base de datos no estructurada para procesar datos espirométricos.	Este artículo presenta el desarrollo de una base de datos no estructurada para el procesamiento de datos espirométricos (proveniente del pulmón), destacando la selección de bases de datos No SQL, específicamente MongoDB, como una herramienta eficaz para este propósito.	Colombia
19	2021	Tamayo Velasco, J.	Big data, competencia y protección de datos: el rol del reglamento general de protección de datos (RGPD) en los modelos de negocio basados en la publicidad personalizada.	El trabajo destaca la naturaleza de los datos y cómo el RGPD puede ser una herramienta útil para proteger la competencia. Sin embargo, también se indica que esta protección también podría reducir la efectividad del RGPD en la práctica.	España
20	2020	Zerpa, H., García, R., y Izquierdo, H.	Datamart basado en el modelo estrella para la implementación de indicadores clave de desempeño como salida del big data.	El estudio destaca la importancia de los procesos de toma de decisiones en entornos de producción y cómo los datamarts pueden simplificar el acceso a la información almacenada en grandes almacenes de datos.	Venezuela
21	2024	Kolathappilly, AB y Kumar, M.	Percepción de los clientes hacia las estrategias centradas en el cliente de los bancos del sector privado.	Los bancos del sector privado utilizan diversas estrategias para atraer y retener clientes, tales como servicios personalizados, opciones de banca digital y programas de fidelización. Los clientes tienen una percepción generalmente positiva de estos bancos, valorando especialmente la conveniencia, los avances tecnológicos y los servicios centrados en el cliente.	India

22	2024	Kittiwat R.	The role of artificial intelligence in shaping business strategies within the travel and food sectors: a qualitative analysis of secondary data.	La IA es esencial en las estrategias empresariales de los sectores de viajes y alimentos, mejorando la experiencia del cliente y optimizando operaciones. Ambos sectores aplican la IA de manera distinta, con énfasis en personalización y eficiencia. Las preocupaciones éticas, como la privacidad de datos, son cruciales en ambos casos.	Tailandia
23	2024	Abusalma, A., Al-Daoud, KI, Mohammad, SI y Vasudevan, A.	Elevar la satisfacción del cliente: el papel crucial de la calidad del servicio electrónico en el panorama digital actual.	Las plataformas digitales son cruciales para la prestación de servicios, y la satisfacción del cliente depende de la calidad del servicio electrónico. En el sector de logística y entrega en Jordania, la confiabilidad, la capacidad de respuesta y la facilidad de uso son los factores más influyentes en la satisfacción del cliente. La eficiencia y la privacidad también tienen un impacto positivo, aunque menor.	Jordania, Malasia
24	2024	Abdullah, A., Sumantyo, F. D. S., & Wibowo, E. S.	Omnichannel optimization in marketing to increase customer engagement: new strategies for startup companies.	Este estudio revisa la literatura sobre la optimización de estrategias omnicanal en marketing para aumentar la participación del cliente, centrándose en su implementación en empresas emergentes. Identifica factores clave como la integración de canales en línea y fuera de línea, el uso de nuevas tecnologías y la personalización. También aborda los desafíos que enfrentan las startups, como recursos limitados y conocimientos tecnológicos. Concluye que la colaboración con socios estratégicos, la diversificación de canales y la innovación continua son cruciales para el éxito omnicanal.	Indonesia
25	2024	Silalahi, H., Sitio, J. W., & Sihite, M.	El efecto de la calidad del servicio, la experiencia del cliente y la satisfacción del cliente en la lealtad del cliente en la industria de servicios en Indonesia.	Este estudio analiza cómo la calidad del servicio, la experiencia del cliente y la satisfacción del cliente influyen en la lealtad del cliente en la industria de servicios en Indonesia. Los resultados muestran que estos factores afectan positivamente la lealtad, siendo la satisfacción del cliente el predictor más fuerte.	Indonesia

26	2022	Munsamy, N.	Customer experience and engagement in the South African retail sector.	Este estudio busca validar un marco de experiencia del cliente en la industria minorista de Sudáfrica, enfocándose en la lealtad y el compromiso a largo plazo. Dada la competencia y el empoderamiento de los clientes, es crucial entender el compromiso del cliente.	Johannesburg
27	2024	Olanosa, I. M. V., Anastacio, G. M. F., Fabian, D. R. B., Belandres, B. M., Berba, J. W. T., & Navaja, A. B.	Customer experience, satisfaction, and loyalty on Happy Tummy Resto Bar and Catering Services in Imus, Cavite: basis for proposed retention plan.	El estudio evaluó la experiencia y satisfacción de los clientes con el servicio, la limpieza, la relación calidad-precio y la calidad de la comida en Happy Tummy Resto Bar and Catering Services. Los resultados muestran que los clientes tienen una experiencia muy buena y están satisfechos con estos aspectos, además de mostrar lealtad hacia el establecimiento. El estudio también propone un plan de retención para mantener las relaciones con los clientes existentes.	Filipinas
28	2023	Bansal, N., & Sharma, S.	Experiencia del cliente en línea después de la compra de prendas de vestir: un enfoque basado en modelos de ecuaciones estructurales.	El estudio analiza cómo la expansión del comercio electrónico de ropa plantea desafíos para mejorar la experiencia del cliente en la etapa posterior a la compra. Utilizando encuestas y análisis de modelos de ecuaciones estructurales, se concluye que la satisfacción y la intención de recompra dependen de una buena experiencia post-compra. Los hallazgos sugieren que los minoristas deben enfocarse en puntos de contacto críticos para mejorar la orientación al cliente.	India
29	2024	Ribeiro, H., Barbosa, B., Moreira, A. C., & Rodrigues, R.	Customer experience, loyalty, and churn in bundled telecommunications services.	Este estudio demuestra que los servicios de internet, televisión y atención al cliente tienen el mayor impacto en la lealtad, mientras que la lealtad reduce la tasa de abandono. Proporciona un marco para evaluar la experiencia del cliente y retener a los clientes en servicios combinados.	Portugal

30	2024	Adela, M., & de Meylani, T.	Aumentar la intención de recompra del cliente: la importancia de la calidad del producto, el marketing viral y la experiencia del cliente.	Este estudio analiza cómo la calidad del producto, el marketing viral y la experiencia del cliente influyen en la intención de recompra. Los resultados muestran que estas tres variables tienen un impacto significativo en la intención de recompra, destacando la importancia de estrategias de marketing centradas en la calidad del producto y la experiencia del cliente. Además, el marketing viral es eficaz para mejorar la lealtad del cliente.	Indonesia
----	------	-----------------------------	--	---	-----------

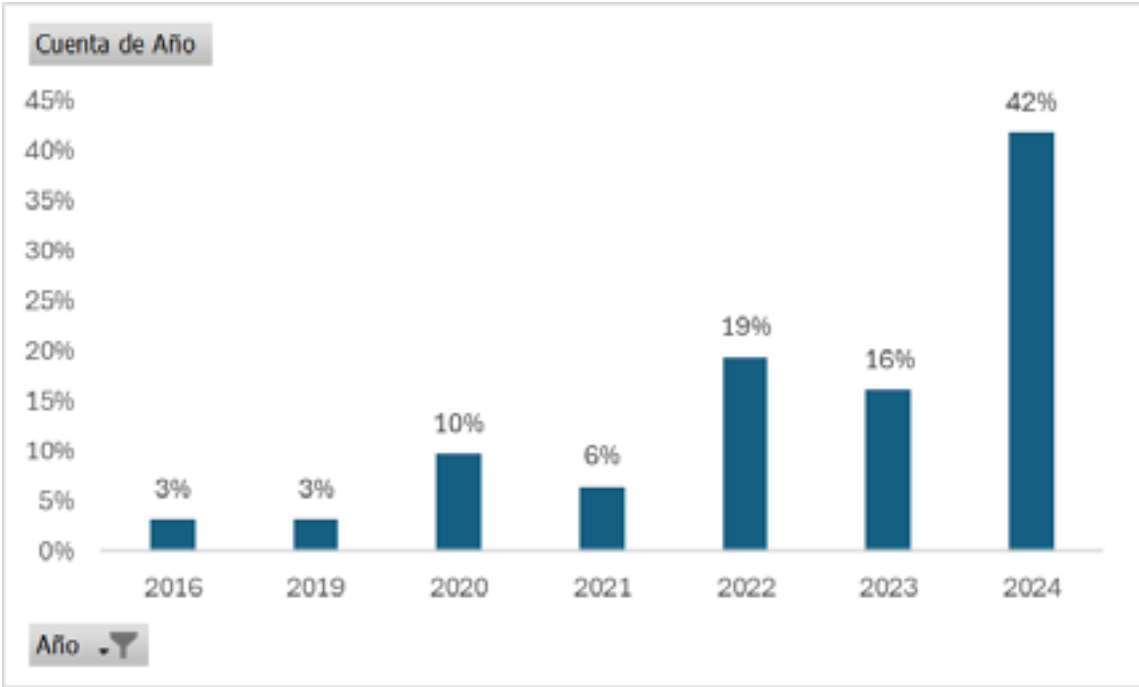
Fuente: Elaboración propia

3. Resultados

3.1. Análisis descriptivo de los artículos

Los estudios sobre la inteligencia artificial en diferentes aspectos de los negocios y la logística han ido en aumento. Según lo revisado, desde el 2016 al 2024, los estudios encontrados se han multiplicado por cuatro.

Figura N°2: Número de publicaciones analizadas por año

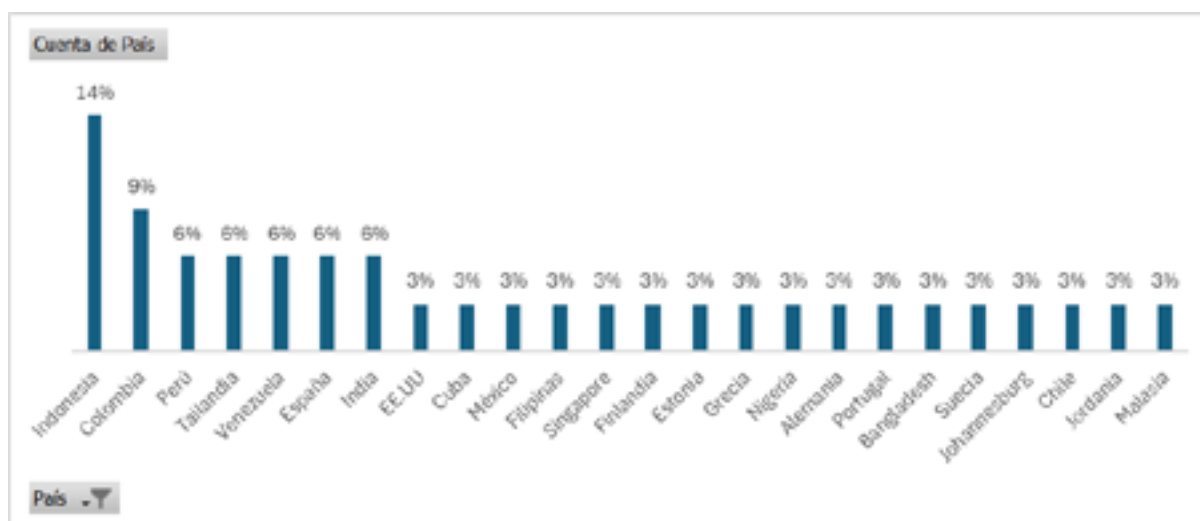


Nota: Cantidad de estudios publicados del 2016 al 2024.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3 se observa la cantidad de estudios analizados por país de procedencia. Entre los países, 80% de estos estudios destacan países asiáticos en vías de desarrollo.

Figura N°3: Número de publicaciones por país de procedencia



Fuente: Elaboración propia

3.2. Análisis comparativo de los artículos

3.2.1. El uso de la big data para el tratamiento de grandes cantidades de información en negocios digitales.

Hablar de big data es hablar de millones de datos creados cada día en todo el mundo. El big data es definido como información de gran volumen, variedad y velocidad, que demanda de formas costosas e innovadoras para ser procesada (Tamayo, 2021).

El procesamiento de la información requiere del uso de tablas o bases de datos. Estas pueden ser tipo jerárquicas, en red, relacionales, orientadas a los objetivos, con objeto relacional o no relacionales. La elección de la tabla va a depender de la calidad de los datos que disponga la empresa, la relación que se cuente entre ellas, y del potencial de escalabilidad que necesitará el modelo de análisis (Zerpa, García e Izquierdo, 2020).

3.2.2. Flujo de desarrollo de la data

Para que los datos aporten valor a las empresas, deben pasar por diferentes etapas. Extracción e ingesta de los datos, almacenamiento de la información, procesamiento para su mejor tratamiento, análisis y por último la visualización para la toma de decisiones (Ortega-Bastidas, 2020).

Figura N°4: Flujo de tratamiento de los datos.

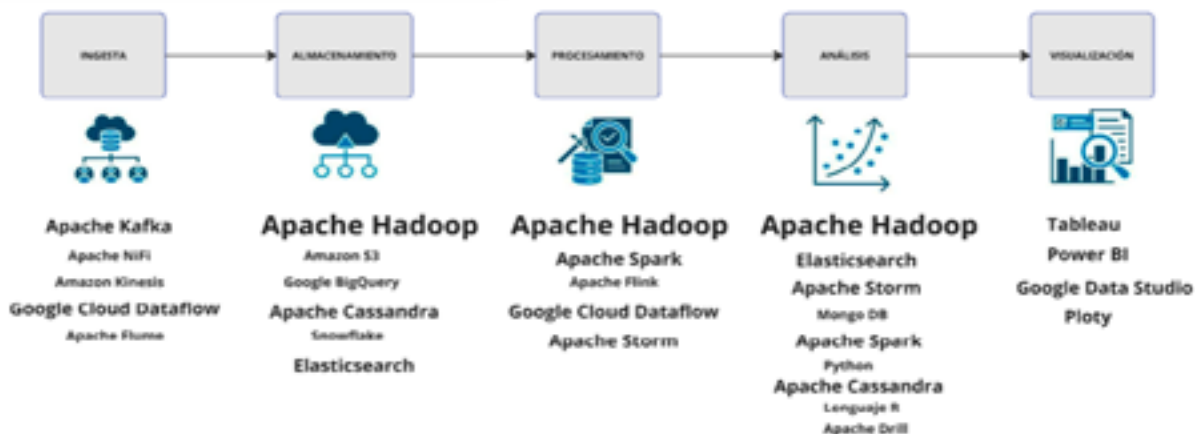
Fuente: Elaboración propia

Existen múltiples herramientas que te ayudan en cada una de estas etapas de procesamiento de la información. Entre las que destacan Apache Kafka y Amazon Kinesis en la etapa de ingesta de la data. La elección de la herramienta correcta dependerá del volumen de los datos y de la velocidad del procesamiento que se necesite (Cam, 2024).

En la etapa de almacenamiento destacan las herramientas de Apache Hadoop, Elasticsearch y Google BigQuery, que pueden hacer una diferencia en términos de rendimiento, escalabilidad y eficiencia (Sierra-Martínez, Tunubalá-Ramírez y Peluffo Ordóñez, 2023).

Para el procesamiento de big data las herramientas más usadas son Apache Hadoop, Apache Spark y Google DataFlow. Mientras que para el análisis de los datos destacan Python y Lenguaje R (Manrique, 2024).

Todo este procedimiento obtiene valor en el momento en que los datos se representan en dashboards de información. Las herramientas más destacadas son: Tableau, Power BI, Google Data Studio (Sierra-Martínez et al., 2023).

Figura N°5: Herramientas utilizadas por etapa del procesamiento de big data.

Fuente: Elaboración propia

3.3. El empleo del machine learning y la analítica predictiva para personalizar la experiencia de los clientes

Con las necesidades de negocio que exigen los clientes hoy en día, la experiencia personalizada se ha convertido en un componente esencial para garantizar la satisfacción de los usuarios. Para ello, se cuenta con dos tecnologías clave: el machine learning (aprendizaje automático) y la analítica predictiva. Estas herramientas permiten a las empresas anticipar las necesidades y preferencias de los usuarios, ofreciendo interacciones más relevantes y personalizadas (Banik, Banik, y Annee, 2024).

3.3.1. Machine learning

El machine learning o aprendizaje automatizado es una rama de la inteligencia artificial que permite a los sistemas aprender y hacer predicciones o tomar decisiones basadas en datos. A diferencia de otros sistemas que siguen instrucciones, el machine learning identifica patrones en los datos y mejora su rendimiento con el tiempo a medida que se expone a más información (Manrique, 2024).

3.3.1.1. Tipos de machine learning

Aprendizaje supervisado: En este enfoque, el modelo se entrena con un conjunto de datos etiquetados, lo que significa que cada entrada de datos viene con una respuesta correcta. El objetivo es que el modelo aprenda a predecir la salida correcta para nuevas entradas basándose en el aprendizaje previo (Hermitaño, 2023).

Aprendizaje no supervisado: En este caso, el modelo se entrena con datos que no están etiquetados. El objetivo es encontrar estructuras o patrones ocultos en los datos. Puede considerarse un ejemplo, el análisis de segmentos de clientes para identificar similitudes entre ellos (Llanes López y Cruz García, 2023).

Aprendizaje por refuerzo: Este modelo se basa en aprender a tomar decisiones secuenciales optimizando una recompensa acumulada. Es común en aplicaciones como los juegos y la robótica, donde el agente aprende a realizar tareas específicas a través de la interacción con el entorno (Hermitaño, 2023).

3.3.1.2. Consideraciones del machine learning

Al implementar machine learning, es crucial considerar varios factores para asegurar el éxito y la ética del proyecto. Primero, la calidad y cantidad de los datos es fundamental; datos insuficientes o sesgados pueden llevar a resultados inexactos (Banik et al., 2024). Además, es importante seleccionar el modelo adecuado según el problema específico y realizar una validación exhaustiva para evitar el sobreajuste. La interpretabilidad del modelo también debe ser considerada, especialmente en aplicaciones críticas donde se requiere transparencia. Finalmente, se debe tener en cuenta la privacidad y seguridad de los datos, garantizando que se cumplan todas las regulaciones y se proteja la información sensible de los usuarios (Ifekanandu, Anene, Iloka y Ewuzie, 2023).

3.3.2. Analítica predictiva

La analítica predictiva es una rama de la analítica avanzada que utiliza técnicas estadísticas, algoritmos de machine learning y modelos matemáticos para analizar datos históricos y hacer predicciones sobre eventos futuros. Su objetivo principal es identificar patrones y relaciones en los datos que puedan ser utilizados para prever comportamientos y tendencias (Shmueli y Koppius, 2011). Por ejemplo, en el ámbito empresarial, la analítica predictiva puede ayudar a anticipar la demanda de productos, optimizar inventarios y mejorar la toma de decisiones estratégicas (Provost y Fawcett, 2013).

3.3.2.1. Modelos de analítica predictiva

3.3.2.1.1. Predicción de clasificación

La predicción de clasificación es una técnica utilizada para asignar una observación a una categoría o clase determinada. Se basa en el uso de algoritmos que analizan las características de los datos disponibles para realizar predicciones precisas. Por ejemplo, en el ámbito de la medicina, los algoritmos de clasificación pueden predecir si un paciente tiene una enfermedad específica basándose en sus síntomas y datos médicos. Los algoritmos comunes para la clasificación incluyen árboles de decisión y redes neuronales. Estos algoritmos aprenden de los datos históricos para identificar patrones y hacer predicciones sobre nuevas observaciones (Mora, 2022).

Además, la predicción de clasificación se utiliza ampliamente en otros campos como el marketing y la detección de fraudes. En marketing, puede ayudar a segmentar a los clientes en diferentes categorías según su comportamiento de compra, permitiendo campañas publicitarias más personalizadas. En la detección de fraudes, los modelos de clasificación pueden identificar transacciones sospechosas al comparar patrones de comportamiento con datos históricos de fraudes conocidos. La capacidad de estos modelos para adaptarse y mejorar con nuevos datos los hacen herramientas poderosas para la toma de decisiones informadas (Osorio, 2022).

3.3.2.1.2. Predicción de regresión

La predicción de regresión es una manera de usar las estadísticas para adivinar qué pasará en el futuro basándose en datos que ya tenemos. Por ejemplo, si sabemos cuánto ha crecido una planta cada día, podemos usar la regresión para adivinar cuánto crecerá mañana. Este modelo es utilizado para modelar y analizar la relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes. Por ejemplo, en el ámbito de salud, la regresión se puede utilizar para prever la celeridad de daños cerebrales (Mora, 2022).

Hay diferentes tipos de regresión. La más fácil se llama regresión lineal, que es como dibujar una línea recta que mejor se ajuste a los puntos en un gráfico. Pero a veces, los datos son más complicados y necesitamos usar otras formas de regresión, como la regresión polinómica o la regresión logística. Cada tipo nos ayuda a hacer mejores

suposiciones dependiendo de lo que estamos tratando de resolver. La precisión de las predicciones puede optimizarse con la selección cuidadosa de variables, la normalización de datos y el uso de técnicas de validación cruzada. Sin embargo, la elección de la metodología adecuada depende de la naturaleza de los datos y del objetivo del análisis (Osorio, 2022).

3.3.2.1.3. Predicción de agrupación

La predicción de agrupación es una técnica utilizada para organizar datos en grupos o "clusters" que tienen características similares. Esta técnica es muy útil en áreas como el marketing, donde las empresas pueden agrupar a sus clientes según sus hábitos de compra para ofrecerles productos personalizados (Mora, 2022).

3.3.2.1.4 . Predicción de asociación

La predicción de asociación es una técnica para identificar relaciones significativas entre diferentes variables dentro de un conjunto de datos. Por ejemplo, en un supermercado, esta técnica puede ayudar a descubrir que los clientes que compran pan también tienden a comprar mantequilla. Estas relaciones son muy útiles para entender patrones de comportamiento y facilita la toma de decisiones estratégicas (Mora, 2022).

Para este modelo es importante considerar el soporte y la confianza. El soporte se refiere a la frecuencia con la que un evento ocurre dentro de un conjunto de datos. Aquí, el antecedente es el evento o eventos que preceden y sustentan la relación, mientras que el consecuente es el evento que ocurre como resultado de los antecedentes. Por otro lado, la confianza mide la fiabilidad de la asociación, indicando cuán probable es que el consecuente ocurra una vez que el antecedente ha tenido lugar (Osorio, 2022).

3.3.3. Personalización de la experiencia del usuario

3.3.3.1. Customer experience (CX)

El CX busca analizar y gestionar la experiencia del cliente en todos sus puntos de contacto con la empresa a lo largo de todo su ciclo de vida. Una buena gestión de CX considera los 6 pilares de experiencia, según define KPMG (Anglada, 2024). Cuando se busca analizar la experiencia del usuario, se busca hacerlo desde el enfoque de la "integridad" de la empresa; desde cómo la compañía vela por sus valores y los promueve en cada punto de contacto con el cliente (Ifekanandu et al., 2023).

Figura N°6: 6 Pilares de la experiencia del cliente

Fuente: Elaboración propia

La "resolución" es entendida como la necesidad de que todo punto de contacto tenga la capacidad de dar una solución al cliente de forma omnicanal. Mientras que "expectativas" aboga por gestionar la experiencia; buscando siempre en superar lo que el cliente espera de ese contacto (Anglada, 2024). Por "tiempo y esfuerzo", se apela a que se defina los procesos que tienen que pasar los clientes de la forma más fácil posible, buscando un ahorro no solo de tiempo, sino también de esfuerzo físico, emocional y cognitivo (Rodríguez, 2020).

El siguiente pilar es la "personalización", es decir tener la capacidad de ofrecer una experiencia individualizada y relevante para las necesidades de cada usuario (Anglada, 2024). Y finalmente "empatía", como la esencia fundamental para poder definir todo proceso de experiencia de usuario que realmente se ponga en el lugar del cliente y busque darle una ayuda genuina (Rodríguez, 2020).

3.3.3.2. Personalización de la experiencia

Tener un producto o servicio personalizado significa que el producto tiene la capacidad de adaptarse según el comportamiento y la información del usuario en cada una de sus transacciones (Ifekanandu et al., 2023). La personalización de la experiencia es usada para entregar el contenido, producto o servicio correcto al cliente indicado en el momento preciso. Esto se logra a través de experiencias predefinidas por segmentos de clientes y la correcta selección de nuevas tecnologías (Banik et al., 2024).

Es importante entender que la personalización de la experiencia se alimenta y cambia en el tiempo, con la información que va recibiendo del usuario, es por ello que se emplea el machine learning y la analítica predictiva para que esta tarea se mantenga actualizada (Ifekanandu et al., 2023).

Algunos usos más comunes de esta personalización son:

- Recomendaciones personalizadas: plataformas como Netflix y Amazon utilizan algoritmos de machine learning para analizar el comportamiento de los usuarios y ofrecer recomendaciones de contenido o productos que se ajustan a sus preferencias (Banik et al., 2024).
- Marketing dirigido: las empresas pueden utilizar la analítica predictiva para segmentar a sus clientes y crear campañas de marketing altamente personalizadas. Esto aumenta la relevancia de los mensajes y mejora las tasas de conversión.
- Optimización de la atención al cliente: los chatbots y asistentes virtuales, impulsados por machine learning, pueden ofrecer respuestas personalizadas y resolver problemas de los clientes de manera eficiente, mejorando la satisfacción del usuario.
- Experiencias de compra personalizadas: en el comercio electrónico, la analítica predictiva puede anticipar las necesidades de los clientes y ofrecerles productos que probablemente les interesen, aumentando las ventas y la lealtad del cliente.

Tener un producto o servicio con una experiencia personalizada es una ventaja competitiva que diferencia a la empresa frente al mercado.

4. Aportes y discusión

Con el alto crecimiento de los negocios digitales y de las altas expectativas de los usuarios, las tecnologías como la inteligencia artificial (machine learning y analítica predictiva) son soluciones obligatorias que permiten el consumo de enormes cantidades de información y usarlas para dar valor al cliente a través de experiencias personalizadas.

Figura N°7: Relación entre las nuevas tecnologías y la fidelización de clientes

Fuente: Elaboración propia

La personalización permite que la empresa pueda tener una relación individualizada con los usuarios, enviando mensajes correctos en el momento preciso. Incluso puede lograr anteponerse a sus necesidades.

La relación entre la personalización de la experiencia y la satisfacción es directa, ya que el usuario tiene la percepción de que sus necesidades son tomadas en cuenta y previstas con anticipación, lo que incrementa el uso de la plataforma digital. Esta satisfacción se vincula con la fidelización y retención del usuario a largo plazo; e incluso puede lograr que el cliente recomiende la empresa con otras personas.

Por otro lado, la personalización no solo contribuye con la fidelización de los usuarios, sino que también es una ventaja competitiva que lo diferencia de la competencia.

5. Conclusiones

En los negocios digitales, la gestión de enormes cantidades de información se realiza mediante tecnologías avanzadas que permiten almacenar y procesar big data. Existen muchas herramientas que te permiten realizar el tratamiento de estos datos, pero lo más importante para elegir qué herramienta utilizar será conocer la forma en que está estructurada las bases de datos y la proyección de los modelos de análisis que harán con esta información.

El machine learning y la analítica predictiva, a través de la inteligencia artificial, juega un papel crucial para la personalización de la experiencia de los usuarios. Estas tecnologías permiten analizar patrones de comportamiento y preferencias individuales, por medio de las cuales las empresas pueden ofrecer recomendaciones personalizadas y servicios adaptados a las necesidades específicas de cada cliente, mejorando significativamente su satisfacción y, por consiguiente, su lealtad.

La implementación de inteligencia artificial en el diseño de la experiencia de los usuarios ha demostrado ser efectiva para mantener la fidelización de los clientes. Las empresas logran construir una relación más estrecha con sus clientes a través de interacciones automatizadas con disponibilidad de 24 horas al día, y ante la anticipación de las necesidades de los clientes con soluciones proactivas. Con todas estas tácticas, las empresas han logrado aumentar la actividad de sus usuarios y reducir su tasa de abandono.

6. Recomendaciones

Para procesar big data en los negocios digitales, se debe considerar implementar las soluciones digitales con almacenamiento en la nube, ya que permiten escalar grandes cantidades de datos de manera eficiente, con flexibilidad y con costos más eficientes. De esta manera los datos podrán ser utilizados con utilidad para tomar decisiones de valor y permitir que las empresas se adapten en un mercado cada vez más cambiante.

Para las empresas peruanas es urgente empezar a invertir en machine learning y analítica predictiva para madurar sus algoritmos y brindar valor al cliente que cada vez es más exigente. Para ello debe acostumbrarse a trabajar en constante experimentación, pruebas A/B y análisis del *feedback* de sus usuarios para ajustar y perfeccionar las recomendaciones personalizadas. Esto permitirá que las empresas sean cada vez más relevantes en el mercado.

Para trabajar con chatbots debe considerarse tener de la mano a un gran equipo de CX que acompañe al cliente, especialmente considerando realidades tan poco digitalizadas como la de Perú. Automatizar la experiencia 24/7 es una gran alternativa para la eficiencia de costos, pero también puede ser doloroso para el cliente si no se considera la educación en digitalización de los usuarios.

7. Agradecimiento

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, cuyo apoyo incondicional y amor han sido fundamentales en la realización de este artículo. Su paciencia y comprensión me han permitido dedicar el tiempo y esfuerzo necesarios para explorar la relación entre la inteligencia artificial y la personalización de la experiencia y retención de clientes. Gracias por ser mi inspiración constante y por creer en mí en cada paso del camino.

8. Literatura citada

- ABDULLAH, A., SUMANTYO, F. D. S., & WIBOWO, E. S. (2024). OMNICHANNEL OPTIMIZATION IN MARKETING TO INCREASE CUSTOMER ENGAGEMENT: NEW STRATEGIES FOR STARTUP COMPANIES. POLITEKNIK PERTANIAN NEGERI PANGKAJENE KEPULAUAN, UNIVERSITAS BHAYANGKARA JAKARTA RAYA, UNIVERSITAS AZZAHRA.
- ABUSALMA, A., AL-DAOUD, KI, MOHAMMAD, SI Y VASUDEVAN, A. (2024). ELEVAR LA SATISFACCIÓN DEL CLIENTE: EL PAPEL CRUCIAL DE LA CALIDAD DEL SERVICIO ELECTRÓNICO EN EL PANORAMA DIGITAL ACTUAL. REVISTA INTERNACIONAL DE GESTIÓN Y MARKETING , 14 (6), 372–377. [HTTPS://DOI.ORG/10.32479/IRMM.17601](https://doi.org/10.32479/IRMM.17601)
- ADELA, M., & DE MEYLANI, T. (2024). AUMENTAR LA INTENCIÓN DE RECOMPRA DEL CLIENTE: LA IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO, EL MARKETING VIRAL Y LA EXPERIENCIA DEL CLIENTE. UNIVERSIDAD ASA INDONESIA. [HTTPS://DOI.ORG/10.33050/ATM.v8i2.2263](https://doi.org/10.33050/ATM.v8i2.2263)
- ANGLADA, M. M. (2024). MEJORA EN LA EXPERIENCIA DEL CLIENTE DE LOZADA VIAJES A TRAVÉS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL. UNIVERSIDAD SIGLO 21, ARGENTINA.
- BANIK, B., BANIK, S., & ANNEE, R. R. (2024). AI-DRIVEN STRATEGIES FOR ENHANCING CUSTOMER LOYALTY AND ENGAGEMENT THROUGH PERSONALIZATION AND PREDICTIVE ANALYTICS. JAGANNATH UNIVERSITY, DHAKA, BANGLADESH.
- BANSAL, N., & SHARMA, S. (2023). EXPERIENCIA DEL CLIENTE EN LÍNEA DESPUÉS DE LA COMPRA DE PRENDAS DE VESTIR: UN ENFOQUE BASADO EN MODELOS DE ECUACIONES ESTRUCTURALES. PÁGINAS, 13-24. [HTTPS://DOI.ORG/10.1080/17543266.2023.2225065](https://doi.org/10.1080/17543266.2023.2225065)
- CAM, C. R. (2024). BIG DATA EN EL MUNDO DEL RETAIL: SEGMENTACIÓN DE CLIENTES Y SISTEMA DE RECOMENDACIÓN EN UNA CADENA DE SUPERMERCADOS DE EUROPA. PERÚ
- HERMITAÑO CASTRO, J. A. (2023). APLICACIÓN DE MACHINE LEARNING EN LA GESTIÓN DE RIESGO DE CRÉDITO FINANCIERO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA. UNIVERSIDAD DE LIMA, PERÚ.
- IFEKANANDU, C. C., ANENE, J. N., ILOKA, C. B., & EWUZIE, C. O. (2023). INFLUENCE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) ON CUSTOMER EXPERIENCE AND LOYALTY: MEDIATING ROLE OF PERSONALIZATION. UNIVERSITY OF NIGERIA BUSINESS SCHOOL, ENUGU STATE. NIGERIA.
- KITTIWAT R. (2024) THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SHAPING BUSINESS STRATEGIES WITHIN THE TRAVEL AND FOOD SECTORS: A QUALITATIVE ANALYSIS OF SECONDARY DATA. LIBRARY PROGRESS INTERNATIONAL.
- KOLATHAPPILLY, AB Y KUMAR, M. (2024). PERCEPCIÓN DE LOS CLIENTES HACIA LAS ESTRATEGIAS CENTRADAS EN EL CLIENTE DE LOS BANCOS DEL SECTOR PRIVADO. REVISTA DE ESTILO DE VIDA Y REVISIÓN DE LOS ODS. [HTTPS://DOI.ORG/10.47172/2965-730X.SDGsREVIEW.v4.n04.pe03537](https://doi.org/10.47172/2965-730X.SDGsREVIEW.v4.n04.pe03537)

- LLANES LÓPEZ, C., & CRUZ GARCÍA, C. DE LA C. (2023). BREVE RESEÑA SOBRE EL USO DE MACHINE LEARNING PARA EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES EN LA ACTUALIDAD. CUBA.
- LOURENÇO, H. R. (2005). E-LOGÍSTICA. EN D. SERRA (ED.), LA LOGÍSTICA EMPRESARIAL EN EL NUEVO MILENIO (PP. 88-116). BARCELONA.
- MANRIQUE R., E. (2024). MACHINE LEARNING: ANÁLISIS DE LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN Y HERRAMIENTAS PARA DESARROLLO. MÉXICO.
- MARINO, E., & GARCÍA MERINO, E. (2018). ANÁLISIS DE LOS MODELOS DE INTELIGENCIA DE NEGOCIOS BASADOS EN BIG DATA EN LAS PYMES DEL ECUADOR.
- MORA PINEDA, J. (2022). MODELOS PREDICTIVOS EN SALUD BASADOS EN APRENDIZAJE DE MÁQUINA (MACHINE LEARNING). CHILE.
- MUNSAMY, N. (2022). CUSTOMER EXPERIENCE AND ENGAGEMENT IN THE SOUTH AFRICAN RETAIL SECTOR. JOHANNESBURG. [HTTPS://HDL.HANDLE.NET/10539/41064](https://hdl.handle.net/10539/41064)
- OLANOSA, I. M. V., ANASTACIO, G. M. F., FABIAN, D. R. B., BELANDRES, B. M., BERBA, J. W. T., & NAVAJA, A. B. (2024). CUSTOMER EXPERIENCE, SATISFACTION, AND LOYALTY ON HAPPY TUMMY RESTO BAR AND CATERING SERVICES IN IMUS, CAVITE: BASIS FOR PROPOSED RETENTION PLAN. PHILIPPINES. [HTTPS://DOI.ORG/10.37602/IJREHC.2024.5116](https://doi.org/10.37602/IJREHC.2024.5116)
- ORTEGA-BASTIDAS, J. (2020) ¿CÓMO SATURARNOS LOS DATOS? UNA PROPUESTA ANALÍTICA "DESDE" Y "PARA" LA INVESTIGACIÓN CUALITATIVA. VENEZUELA
- OSORIO CASTRILLÓN, S. (2022). MACHINE LEARNING APLICADO A LA PREDICCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA DEPRESIÓN, UN ENFOQUE HACIA LA GESTIÓN DE LA SALUD MENTAL. UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN. COLOMBIA.
- PIZARRO, R., RODRÍGUEZ, J. , RODRÍGUEZ, A., Y CALZADA, J. (2020). CIENCIA DE LOS DATOS: PROPUESTAS Y CASOS DE USO. MÉXICO.
- RIBEIRO, H., BARBOSA, B., MOREIRA, A. C., & RODRIGUES, R. (2024). CUSTOMER EXPERIENCE, LOYALTY, AND CHURN IN BUNDLED TELECOMMUNICATIONS SERVICES. SAGE OPEN, 14(2). [HTTPS://DOI.ORG/10.1177/21582440241245191](https://doi.org/10.1177/21582440241245191)
- RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ, C. (2020). LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL RETAIL: OPTIMIZACIÓN Y MEJORA DE EXPERIENCIA DE CLIENTE. ESPAÑA.
- SIERRA-MARTÍNEZ, L. M., TUNUBALÁ-RAMÍREZ, J. A., Y PELUFFO ORDÓÑEZ, D. H. (2023). CONSTRUCCIÓN DE UNA BASE DE DATOS NO ESTRUCTURADA PARA PROCESAR DATOS ESPIROMÉTRICOS. UNIVERSIDAD DEL CAUCA, POPAYÁN, COLOMBIA.

- SILALAH, H., SITIO, J. W., & SIHITE, M. (2024). EL EFECTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO, LA EXPERIENCIA DEL CLIENTE Y LA SATISFACCIÓN DEL CLIENTE EN LA LEALTAD DEL CLIENTE EN LA INDUSTRIA DE SERVICIOS EN INDONESIA. SCIENCES DU NORD ECONOMICS AND BUSINESS, 1(02), 109-117. [HTTPS://DOI.ORG/10.58812/T399YG83](https://doi.org/10.58812/T399YG83)
- TAMAYO VELASCO, J. (2021). BIG DATA, COMPETENCIA Y PROTECCIÓN DE DATOS: EL ROL DEL REGLAMENTO GENERAL DE PROTECCIÓN DE DATOS EN LOS MODELOS DE NEGOCIO BASADOS EN LA PUBLICIDAD PERSONALIZADA. UNIVERSIDAD DE VALLADOLID. ESPAÑA.
- ZERPA, H., GARCÍA, R., Y IZQUIERDO, H. (2020). DATAMART BASADO EN EL MODELO ESTRELLA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO COMO SALIDA DEL BIG DATA. VENEZUELA.

El uso de la inteligencia artificial para mejorar la experiencia de compra online en el sector retail en Latinoamérica

Ing. Hillary Melissa Guerra Puican
Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú
Correo electrónico; hillary.guerra@unmsm.edu.pe

Ing. Víctor Hugo Ramírez Rodrigo
Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú
Correo electrónico; victor.ramirezro@unmsm.edu.pe

Resumen: La presente investigación tiene como principal contribución analizar el impacto del uso de la inteligencia artificial en la experiencia de compra online del cliente en el sector retail. Para el desarrollo del presente artículo se realizó la revisión y búsqueda de literatura en bases de datos, se realizó el análisis de los artículos recolectados y considerando los criterios de inclusión y exclusión y siguiendo la metodología PRISMA se seleccionaron 32 artículos para una revisión profunda. De la revisión bibliográfica se obtuvo como resultados que los beneficios del uso de la inteligencia artificial en el sector retail son la personalización del servicio, ofertas personalizadas al cliente, la atención al cliente mejorada, la resolución de problemas automatizada, la optimización de la logística y la detección de fraudes. También se obtuvo que los factores que influyen en la experiencia de compra online en el sector retail son la lealtad del cliente, el estímulo que establece la empresa para que el consumidor realice la compra online, la percepción de la marca, el perfil sociodemográfico del consumidor y la usabilidad, funcionalidad y sociabilidad del sitio web de compra.

Palabras claves: Inteligencia artificial/ Experiencia de compra/ Machine learning/ Servicio al cliente.

Abstract: This research aims to analyze the impact of artificial intelligence on the online shopping experience of customers in the retail sector. For the development of this article, a review and search of literature in databases was carried out. After analyzing the collected articles and considering the inclusion and exclusion criteria, following the PRISMA methodology, 32 articles were selected for an in-depth review. The bibliographic review obtained as results that the benefits of using artificial intelligence in the retail sector are service personalization, personalized offers for the customer, improved customer service, automated problem solving, logistics optimization and fraud detection. It was also obtained that the factors that influence the online shopping experience in the retail sector are customer loyalty, the incentive that the company establishes for the consumer to make the online purchase, brand perception, the sociodemographic profile of the consumer and the usability, functionality and sociability of the shopping website.

Keywords: Artificial intelligence/ Shopping experience/ Machine learning/ Customer service

Résumé: La présente recherche vise à analyser l'impact de l'intelligence artificielle sur l'expérience d'achat en ligne des clients dans le secteur de la vente au détail. Pour l'élaboration de cet article, une revue et une recherche de littérature dans les bases de données ont été effectuées. Après avoir analysé les articles recueillis et en considérant les critères d'inclusion et d'exclusion, suivant la méthodologie PRISMA, 32 articles ont été sélectionnés pour une revue approfondie. La revue bibliographique a obtenu comme résultats que les avantages de l'utilisation de l'intelligence artificielle dans le secteur de la vente au détail sont la personnalisation du service, les offres personnalisées pour le client, l'amélioration du service client, la résolution automatisée des problèmes, l'optimisation de la logistique et la détection des fraudes. Il a également été obtenu que les facteurs qui influencent l'expérience d'achat en ligne dans le secteur de la vente au détail sont la fidélité du client, l'incitation que l'entreprise établit pour que le consommateur effectue l'achat en ligne, la perception de la marque, le profil sociodémographique du consommateur et la facilité d'utilisation, la fonctionnalité et la sociabilité du site web d'achat.

Mots-clés: Intelligence artificielle/ Expérience d'achat/ Apprentissage automatique/ Service client

1. Introducción

En la última década, el comercio electrónico ha experimentado un crecimiento exponencial en todo el mundo, y Latinoamérica no ha sido la excepción. Con la creciente digitalización y la expansión del acceso a internet, el sector retail ha adoptado nuevas tecnologías para optimizar la experiencia del consumidor. Entre estas innovaciones, la inteligencia artificial (IA) ha surgido como una herramienta clave para transformar la experiencia de compra online. Al ofrecer soluciones personalizadas, mejorar la eficiencia en el servicio al cliente y optimizar las operaciones internas, la IA promete revolucionar el comercio minorista en la región.

El uso de la inteligencia artificial en el sector retail no solo se limita a la automatización de procesos, sino que está redefiniendo la forma en que las empresas interactúan con sus clientes. A través de la personalización basada en datos, las empresas pueden ofrecer recomendaciones de productos, optimizar la navegación en sitios web y anticiparse a las necesidades de los consumidores. En un entorno tan competitivo como el comercio electrónico, la capacidad de ofrecer experiencias de compra altamente personalizadas puede ser el factor diferencial que permita a las empresas retener y atraer a nuevos clientes.

La inteligencia artificial está revolucionando el sector del comercio electrónico al ofrecer herramientas y soluciones innovadoras. A través del aprendizaje automático y el análisis de grandes volúmenes de datos, la IA permite personalizar la experiencia de

compra, ofreciendo recomendaciones de productos altamente relevantes para cada usuario. Además, optimiza procesos internos como la gestión de inventario, la atención al cliente y la logística, mejorando la eficiencia y reduciendo costos.

La IA también permite analizar las tendencias del mercado y el comportamiento de los consumidores, lo que ayuda a las empresas a tomar decisiones más informadas sobre el desarrollo de nuevos productos, la fijación de precios y las estrategias de marketing. En resumen, la IA es una tecnología clave para impulsar el crecimiento y la competitividad en el comercio electrónico.

Actualmente, la inteligencia artificial está transformando radicalmente la forma en que los consumidores interactúan con los retails; gracias a sus algoritmos avanzados, las plataformas de comercio electrónico pueden ofrecer recomendaciones personalizadas de productos (customizar la experiencia de compra del cliente), anticipándose a las necesidades y deseos de cada cliente. Esto agiliza el proceso de compra y también aumenta la probabilidad de que el consumidor encuentre exactamente lo que está buscando, mejorando así su experiencia de compra.

Además de las recomendaciones personalizadas, la IA también potencia la atención al cliente. Los chatbots con IA pueden responder preguntas frecuentes, solucionar problemas y brindar asistencia en tiempo real, las 24 horas del día, los 7 días de la semana; reduciendo significativamente los tiempos de espera y mejorando la eficiencia en la resolución de las incidencias. Asimismo, la IA permite analizar grandes volúmenes de datos de los clientes para identificar sus patrones de comportamiento y preferencias, lo que ayuda significativamente a las empresas para adaptar sus estrategias de marketing y teniendo un efecto positivo en la experiencia del usuario.

Aunque la inteligencia artificial ofrece innumerables beneficios, también presenta retos éticos y regulatorios que deben ser abordados. El manejo de grandes volúmenes de datos personales plantea preguntas sobre la privacidad y la seguridad de los consumidores. Las empresas deben encontrar un equilibrio entre ofrecer experiencias personalizadas y proteger la información de sus usuarios, cumpliendo con las normativas locales e internacionales sobre protección de datos.

En conclusión, la inteligencia artificial está transformando rápidamente el comercio online en Latinoamérica, proporcionando nuevas oportunidades para mejorar la experiencia de compra en el sector retail. A medida que las empresas continúen adoptando esta tecnología, será crucial abordar tanto los desafíos técnicos como éticos para maximizar su impacto positivo en la región.

Pregunta general:

¿Cómo la inteligencia artificial mejora la experiencia de compra online en el sector retail?

Preguntas específicas

P.E.1. ¿Qué beneficios tiene el uso de la inteligencia artificial en el sector retail?

P.E.2. ¿Cuáles son los factores que influyen en la experiencia de compra online en el sector retail?

P.E.3. ¿Qué herramientas de la inteligencia artificial permiten la mejora en la experiencia de compra online en el sector retail?

P.E.4. ¿Cuál es el impacto del uso de las herramientas de inteligencia artificial en la logística inversa para el sector retail?

Objetivo general

La presente revisión tiene como principal contribución:

O.G. Analizar el impacto del uso de la inteligencia artificial en la experiencia de compra online del cliente en el sector retail.

Objetivos específicos

O.E.1. Conocer los beneficios del uso de la inteligencia artificial en el sector retail.

O.E.2. Explicar los factores que influyen en la experiencia de compra online en el sector retail.

O.E.3. Identificar las herramientas de la inteligencia artificial que permiten la mejora en la experiencia de compra online en el sector retail

O.E.4. Mostrar el impacto del uso de las herramientas de inteligencia artificial en la logística inversa para el sector retail.

2. Material y métodos

2.1. Pregunta PICOC

Se formuló la siguiente pregunta para la revisión sistemática de la literatura: *¿Cómo la inteligencia artificial mejora la experiencia de compra online en el sector retail ?*

2.2. Palabras clave especializadas pertinentes

Las palabras claves van acorde a lo formulado en la pregunta "PICOC", clasificando estas palabras con la estructura de la pregunta. La estructura se detalla de la siguiente manera:

Tabla N°1: Estrategia del acrónimo PICOC

Código	Palabras clave en español	Palabras clave en inglés
P (Problema)	Sector retail	Retail segment
I (Intervención)	Uso de la inteligencia artificial	Artificial intelligence
C (Comparación)	-	-
O (Resultado esperado)	Nivel de satisfacción en la experiencia de compra del cliente	Customer experience
C (Contexto)	Comercio electrónico	e-commerce

Fuente: Elaboración propia

2.3. Ecuación de búsqueda

- "Inteligencia artificial" and "sector retail " and "experiencia de compra del cliente"
- "Inteligencia artificial" and "e-commerce"
- "E-commerce" and "customer service"
- "Machine learning" and "ecommerce"
- "Machine learning" and "customer service"
- "Big data" and "customer service"
- "Big data" and "ecommerce"
- "Logistics" and "customer service"
- "Intelligence artificial" and "big data" and "customer service"

2.4. Criterios de inclusión y exclusión de los artículos científicos

Tabla N°2: Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
i1 Estudios publicados en los últimos 5 años (2019-2023) que aborden el uso de IA en el sector retail y la experiencia de compra online.	e1 Artículos publicados antes de 2019 que no abordan innovaciones recientes en IA aplicadas al retail o la experiencia de compra online.
i2 Investigaciones que aborden específicamente el uso de IA en el sector retail en países de Latinoamérica.	e2 Estudios que se centren en sectores distintos al retail o no mencionen aplicaciones relacionadas con la compra online.
i3 Estudios que incluyan métricas o evaluaciones claras del impacto de la IA en la mejora de la experiencia de usuario o en indicadores de negocio en retail.	e3 Artículos que no presenten resultados cuantitativos o cualitativos sobre el impacto de la IA en la experiencia de compra online.
i4 Investigaciones que consideren factores relevantes en la experiencia del cliente como personalización, recomendación de productos, chatbots, y atención automatizada.	e4 Investigaciones que se centren únicamente en aspectos técnicos de IA (algoritmos) sin explorar su aplicación en la experiencia del cliente.
i5 Estudios que incluyan comparaciones entre distintos tipos de IA aplicados al comercio electrónico (machine learning, NLP, deep learning, etc.) en el contexto de retail.	e5 Publicaciones que no traten sobre IA, sino sobre otras tecnologías digitales (como big data o realidad aumentada) sin conexión con la IA.
i6 Artículos que examinen la relación entre IA y variables claves de comportamiento del consumidor online, como la lealtad y la retención de clientes en retail.	e6 Investigaciones que no tengan una relación directa con el comportamiento del consumidor en el contexto online del sector retail.

Fuente: **Elaboración propia**

2.5. Descripción del proceso de selección

Resultados obtenidos del proceso de búsqueda de literatura científica

El resultado obtenido a raíz de la ecuación de búsqueda introducida en las bases de datos consultadas muestra una cantidad de 133 publicaciones, entre ellas, artículos y revisiones sistemáticas de literatura. Considerando ello, se procedió a exportar las publicaciones a un cuadro general de Excel para seleccionar las publicaciones a considerar en la presente investigación.

Descripción de la lógica de selección considerada

Para el proceso de selección de artículos se consideraron criterios como: incluir los artículos de base de datos general (Proquest) y otras bases de datos para extracción de artículos adicionales (Scielo y Google académico). En cuanto a criterios de exclusión se consideró excluir investigaciones con una antigüedad mayor de 5 años, con acceso restringido y que no sean artículos.

Además, se consideraron criterios particulares como los señalados en la tabla 02, con la finalidad de definir la cantidad total de publicaciones de revisión sistemática de literatura mostradas en el flujograma PRISMA (Figura 01).

Descripción detallada del proceso de selección y sus resultados

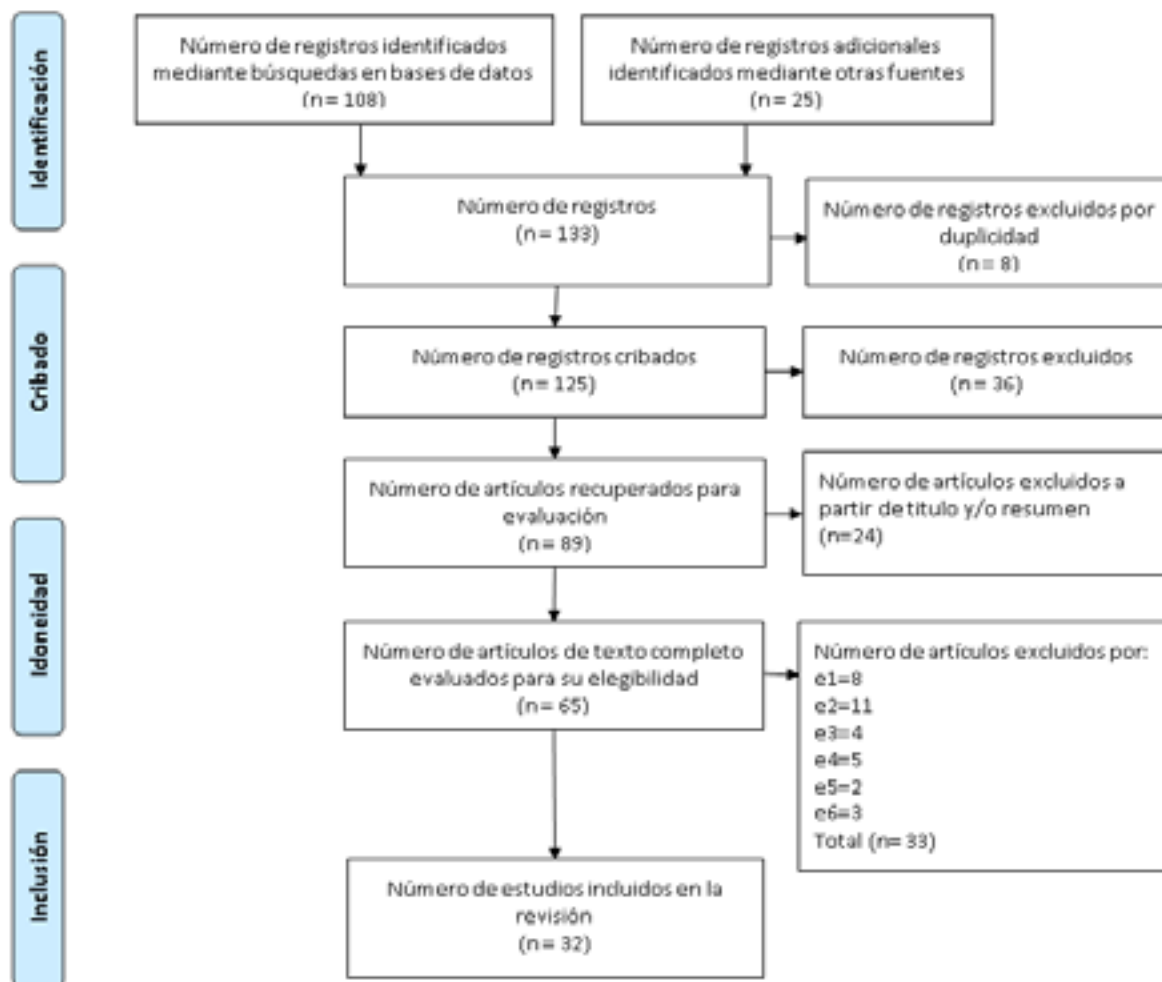
El diagrama PRISMA es un instrumento comúnmente utilizado en estudios de revisión bibliográfica debido a que permite a los autores realizar un análisis bibliográfico de modo ágil. También permite una revisión amplia del tema de investigación, ya que considera sólo las investigaciones relevantes y que serán utilizadas para generar nuevos conocimientos en el campo.

El diagrama PRISMA se elaboró en base a cuatro puntos principales:

- **Identificación:** la etapa de identificación implicó la búsqueda inicial de estudios relevantes en bases de datos, repositorios y otras fuentes. Se identificó el total de estudios obtenidos con la ecuación de búsqueda formulada ($n=108$) además de investigaciones encontradas en fuentes adicionales ($n=25$), generando un total de estudios ($n=125$), sin considerar publicaciones duplicadas ($n=8$).
- **Cribado :** en el cribado, los registros identificados se revisaron para excluir aquellos que no cumplían con los criterios de inclusión basados en los títulos y resúmenes. Considerando las investigaciones identificadas ($n=125$), se excluyeron aquellas investigaciones a las cuales no se tuvo acceso y que no son artículos y/o revisiones ($n=36$). En total se obtuvieron publicaciones recuperadas ($n=89$), de las cuales se excluyeron publicaciones cuyo título o resumen no estaban relacionados con "comercio electrónico", "inteligencia artificial" y "experiencia de compra". ($n=24$)
- **Idoneidad :** este punto consistió en revisar los textos completos de los estudios seleccionados para confirmar su pertinencia según los criterios de inclusión y exclusión establecidos previamente. Es así que se obtuvieron como investigaciones evaluadas para elegibilidad ($n=65$), de las cuales, luego de aplicar los criterios de exclusión descritos en la tabla 02 ($e1=8$; $e2=11$; $e3=4$; $e4=5$; $e5=2$; $e6=3$), se obtuvo un total de artículos ($n=32$)
- **Inclusión:** finalmente, en la etapa de inclusión se seleccionaron los estudios que cumplieron con todos los criterios para formar parte del análisis final. Este conjunto final de estudios ($n=32$) fue analizado en profundidad en la revisión y sirvieron para el desarrollo del trabajo de revisión.

2.5. Descripción del proceso de selección

Figura N°1: Diagrama prisma



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3: Aportes de artículos revisados y seleccionados

N°	Año	Autores	Título	Aporte	País
1	2023	Msc Juan Richard Ruiz Díaz Benítez	Diseño de una arquitectura de referencia en la logística de abastecimiento inteligente de almacenes mediante el uso de Tecnologías de la Industria 4.0. Caso Almacenes retail de la Ciudad de Pilar	El artículo propone una integración de sistemas de información y comunicación. como el internet de las cosas (Iot), inteligencia artificial (Ia) y un DSS (Decision support system) con el fin de gestionar un óptimo sistema de distribución (rutas de entrega).	Paraguay
2	2020	Diana María Robayo - Botiva	El comercio electrónico: concepto, características e importancia en las organizaciones	El artículo describe los modelos del comercio electrónico, las partes involucradas en cada modelo. Así como, la importancia del comercio electrónico para las organizaciones.	Colombia
3	2023	González-Romero, I. y Prado-Prado, J. C.	La última milla sostenible en el comercio electrónico: Identificación de los temas de investigación tratados en la literatura	La importancia de la última milla (last mile) en el comercio electrónico, las estrategias usadas por las diferentes organizaciones y cómo estas se adaptan a las tendencias globales de hoy en día.	España
4	2024	Mathías Fabricio Rebaza Telleria y Grecia Rutti	Análisis de la influencia de la logística de devoluciones en la ventaja competitiva de las empresas del sector retail en el marco del comercio electrónico	Como una correcta política en la gestión de devoluciones para las compras en el comercio electrónico permiten a la organización tener una ventaja competitiva frente a sus principales competidores.	Perú
5	2023	Abdul Rahman bin S Senathirajah, Shaikhah Alai-nati, Rasheedul Haque, Saif Ahmed, Md. Ibrahim Khalil, Binoy Chowdhury.	Antecedents and Consequence of Trust - Commitment Towards Artificial Based Customer Experience - Antecedentes y Consecuencias de la Confianza: Compromiso Hacia la Experiencia del Cliente basada en artificiales	La investigación tiene como objetivo examinar cómo se utiliza a la inteligencia artificial (IA) en el segmento minorista para mejorar la experiencia de compra de los usuarios de IA. Teniendo como variables de análisis la calidad de servicio, experiencia de los clientes y compromiso	España
6	2024	Cristian Moisés Villafuerte Garzón, Andrea Valeria Trávez Tipan	Estudio sobre el uso de la Inteligencia Artificial en la comercialización en línea de accesorios de moda y artículos complementarios.	Los posibles análisis de tendencias en los mercados y consumidores gracias a la inteligencia artificial y como estos son usados en beneficio de las empresas del sector moda y artículos.	Ecuador

7	2023	Yéssica Ales-sandra Méndez Álvarez	Análisis del impacto de la logística 4.0 en Colombia y su relación frente a la industria, innovación, consumo responsable e infraestructura y producción para empresas del sector retail	Impacto que ha generado la logística 4.0 en los últimos 5 años y su relación frente al trabajo y crecimiento económico, industria, producción, innovación e infraestructura y consumo responsable para empresas del sector retail.	Colombia
8	2020	Cristina Rodríguez Gutiérrez	La Inteligencia Artificial en el retail: optimización y mejora de experiencia de cliente	Herramientas de inteligencia artificial como mecanismos para mejorar la experiencia de cliente en la industria del retail y el e-commerce.	España
9	2023	Pedro Alejandro Cogua Botia, Jonathan Andrés Hernández Acevedo, Sandra Milena Rosas Rodríguez	Uso de realidad aumentada e inteligencia artificial para transformar la experiencia de compra	Aplicaciones de la inteligencia artificial en la industria de la moda como personalización de prendas y recomendaciones de productos basadas en preferencias.	Colombia
10	2022	Kunthi Afrilinda Kusumawardani, Hanif Adinugroho Widyan-to, Jéssica Eva Gloria Tambunan	The role of gamification, social, hedonic and utilitarian values on e-commerce adoption	Los resultados mostraron que la exposición a la gamificación influyó significativamente en los valores sociales, el reconocimiento y el beneficio recíproco. Sin embargo, solo los valores sociales y el beneficio recíproco influyeron en las actitudes, lo que condujo a la intención de seguir utilizando la plataforma de comercio electrónico y a la difusión del boca a boca. El reconocimiento.	Indonesia
11	2021	Judit Pesudo Martínez y Jéssica Izquierdo Castillo	Los gigantes tecnológicos conquistan el audiovisual. El caso de Amazon Prime Video	Los grupos tecnológicos GAFAM —Google, Amazon, Facebook, Apple y Microsoft— destacan por su relevancia, presencia e influencia creciente en diferentes sectores, entre ellos el audiovisual. Se aborda el análisis de la evolución del grupo, su caracterización y ámbitos de actuación. A partir de ahí, se estudia el impacto de APV sobre el sector audiovisual de streaming. Se adopta el estudio de caso como técnica de investigación cualitativa para explicar.	España

12	2023	Mariana del Valle Buitrago Rodríguez	El comercio electrónico y la inteligencia artificial	La importancia de la inteligencia artificial en el comercio electrónico, en función de crear una experiencia atrayente y útil para los clientes, por medio de ofertas y promociones vinculadas a sus necesidades e intereses, y captación de clientes gracias a las ventajas de adquirir bienes, productos o servicios, en mercados donde se denota que el ofrecimiento de los asistentes virtuales de servicio de atención al cliente en la web, así como las modalidades de pago electrónicos y el marketing digital u oferta de bienes, productos y servicios que efectivamente tengan existencia real tanto en los escaparates web como en los stocks de mercancías de la organización social, son el orden del día.	Venezuela
13		Petri Helo & Yuqiuge Hao	Artificial intelligence in operations management and supply chain management: an exploratory case study	Describe el concepto de IA y supply chain management. Luego se centra en el análisis de las aplicaciones de la cadena de suministro impulsadas por la IA. También, analiza los modelos de negocio emergentes basados en IA de diferentes empresas de casos, evalúa soluciones basadas en IA e identifica varias áreas de creación de valor para la aplicación de la IA en la cadena de suministro. Finalmente muestra una propuesta de diseño de modelos de negocio para aplicación de la IA en la cadena de suministro.	Finlandia
14	2020	López- Piñón, Deydra Celeste Terán - Cazares, María Mayela	"Análisis de los factores que influyen en la intención de compra online"	Esta investigación tiene como objetivo analizar la literatura relacionada con factores como: percepciones del consumidor en el proceso de compra online, el perfil sociodemográfico del consumidor online y la adopción a la innovación tecnológica del consumidor online.	México

15	2020	Rafael Ana- ya-Sánchez Juan Marcos Castro-Bonaño Eloy Gonzá- lez-Badía	Preferencias del consumidor millennial respecto al diseño de webs de social com- merce	Explica la influencia en entornos de la web social del diseño sobre las evaluaciones del consumidor, y de estas sobre las intenciones de compra, destacando la importancia del diseño sobre las evaluaciones afectivas. Además, brinda informa- ción sobre cómo diseñar las webs para mejorar las actitudes y com- portamientos de compra de los consumidores, permitiendo enfocar la manera de mejorar la experien- cia a través del diseño web, en contextos de continuos cambios en dispositivos y preferencias del consumidor.	España
16	2020.	Kevin Gómez, Mervy Maga- llán, Geovanny Méndez, George Ramírez, Teresa Guarda, Marjorie Coronel, Jaime Orozco, Daniel Quirumbay	Aplicación del apren- dizaje automático como solución en los sistemas de negocios	Las aplicaciones del aprendizaje automático dentro de la logística ayudan a obtener buenas conclu- siones. El aprendizaje automático aprende gradualmente qué variables son las que más afectan a la demanda, adaptándose para futuros cálculos, sin necesidad de la intervención y análisis humano. Además, el aprendizaje automático también puede contribuir para tareas como: gestión de rutas, sugerencia de productos, políticas de precios, optimización de inventario y eva- luación y elección de proveedores o relaciones inesperadas (EAE Business School, 2018).	Ecuador
17	2023	Álvaro Ortiz, T o m a s a Rodrigo	Big data para políticas inteligentes: política económica en tiempo real y alta definición	El gran avance de la tecnología trae consigo un gran volumen de datos en tiempo real. Estos volú- menes de datos tienen un gran potencial para ser usados en cual- quier industria y acotarlos a medida de cada una.	España
18	2024	Mitra Madan- cian, , Hamed Ta her doost, Maassoumeh Javadi, Inam Ullah Khan, Alaeddin Kalan- tari, and Dinesh Kumar	The Impact of Artificial Intelligence on Supply Chain Management in Modern Business	Este estudio identifica claves para el desarrollo de sistemas autó- nomos de cadena de suministro, predicción mejorada de análisis, esfuerzos de sostenibilidad y redes colaborativas de cadenas de sumi- nistro. Esto revolucionará la indus- tria al tomar decisiones en tiempo real, predecir las tendencias del mercado, abordar las preocupa- ciones de sostenibilidad y mejorar la transparencia y la coordinación entre las partes interesadas.	Canadá

19	2019	M u h a m m a d Dharma Tuah Putra Nasution Yossie Rossanty Ku Halim Ku Ariffin Nurliya- na Izzati Binti Mohd Zaini	An empirical exami- nation of the factors influencing consumer's purchase intention toward online shop- ping	Examinar las relaciones entre los factores y evaluar cómo influyen en la participación de los consumi- dores y la intención de compra en línea.	Indone- sia
20	2021	Juan Gilberto Silva - Treviño, Bárbara Azu- cena Macías - Hernández, Ed- gar Tello - Leal, Jesús Gerard Delgado - Rivas	La relación entre la calidad en el servicio, satisfacción del cliente y lealtad del cliente: un estudio de caso de una empresa comer- cial en México	La calidad del servicio es una ventaja competitiva. Las empre- sas pequeñas y medianas, deben ofrecer un mayor nivel de calidad del servicio frente a las grandes empresas. El estudio pretende demostrar la relación entre la variable cali- dad del servicio y satisfacción del cliente.	México
21	2021	Diana M. Ro- bayo - Botiva, Andrey Dayan Díaz Aragón, Ingrith Rivera Gómez, Karen Julieth Londo- ño Cabrera	Análisis del estado del comercio electrónico desde la perspectiva del consumidor y de las pequeñas y me- dianas empresas de un sector servicios y comercio en la ciudad de Villavicencio para determinar su impor- tancia en el contexto actual de la pandemia	El artículo estudia la importancia del comercio electrónico en los res- taurantes y tiendas de ropa, cam- bios en los hábitos de consumo de los compradores a consecuencia de la pandemia. Asimismo detalla el rol clave de la transformación digital para la adaptación de los restaurantes y tiendas de ropa en esta nueva era digital.	Colombia
22	2021	Carlos David Cardona Arens, Santiago Quin- tero Renaud, María Carolina Mora Quintero, Johana Castro Cardona	Influencia del comer- cio electrónico en el desempeño financiero de las pymes en Maniza- les, Colombia	El presente artículo analiza el com- portamiento del comercio electró- nico en las finanzas de pequeñas empresas. La influencia positiva del comercio electrónico en las variables finan- cieras como: ingresos, costos ad- ministrativos mediante un correcto uso de estrategias digitales.	Colombia
23	2022	Linda Rocío Hernández Díaz	Evaluación de los efectos de la confianza del consu- midor sobre el boca-oído electrónico (e-WoM) en tiendas de comercio electrónico en Colom- bia	El análisis de las variables que afectan el boca - oído en empre- sas B2C que tengan integrado el comercio electrónico a su modelo de negocios.	Colombia

24	2020	José María Riola, Carlos Hernán Fajardo-Torero, Javier Díaz Reina, Óscar Mayorga Torres, Miguel Andrés Garnica López	Defensa 4.0: Internet de las Cosas en Sistemas de Batalla (IoBT) en Defensa Naval	El uso de la información en tiempo real para mejor toma de decisiones y la recolección y análisis de datos para una mejor planeación.	Colombia
25	2021	Dewar Rico-Bautista, Gina Paola Maestre-Góngora, César D. Guerrero, Yurley Medina-Cárdenas, Yesenia Areniz-Arévalo, María Camila Sánchez-Velásquez, Edwin Barrientos-Avendaño	Universidad inteligente: Factores claves para la adopción de internet de las cosas y big data	Incorporar las tecnologías inteligentes para aprovechar las capacidades que proporcionan para transformar sus procesos e impulsarse hacia nuevos modelos organizativos. El uso del big data para el procesamiento de datos ayudará en la toma de decisiones de varias industrias.	Colombia
26	2020	Daniel Lemus-Delgado, Ricardo Pérez Navarro	Ciencia de datos y estudios globales: aportaciones y desafíos metodológicos	Los alcances y límites de las nuevas herramientas metodológicas basadas en la ciencia de datos. La correlación que existe en el análisis de datos, gracias al big data, para descubrir nuevos y disruptivos patrones.	México
27	2022	Mayerlin Roldán Sepúlveda, Marisol Valencia Cárdenas, Diego Alejandro López Cadavid, Jorge Aníbal Restrepo Morales, Juan Gabriel Vargas López	Omnicanalidad como estrategia competitiva: una revisión conceptual y dimensional	Las áreas involucradas en la estrategia de omnicanalidad. Relación entre la cadena de suministro, marketing y las tecnologías digitales. El correcto funcionamiento y actualización en tiempo real de la cadena de suministro y las ventas en línea.	Colombia
28	2022	Estrella Gualda	Social big data y sociología y ciencias sociales computacionales	Como el big data ayuda a áreas de inteligencia artificial o el aprendizaje profundo.	España

29	2023	Vicente Bades-Plá Julinda Molarres-Cardoso	La inteligencia artificial ante los retos de la industria de la moda. Beneficios y aplicaciones en la fase de comercialización y marketing	Análisis de los beneficios que aporta la IA ante los grandes retos que afronta el sector de la moda. Además, considera la revisión de las aplicaciones de IA más importantes para los procesos de comercialización y marketing, resaltando las ventajas que aportan y analizando la IA como herramienta de tecnología y de soporte.	España
30	2022	William Villegas-Ch., José Guambo-Heredia, Santiago Sanchez-Viteri, José Walter-Gaibor-Naranjo	Análisis de sentimiento en redes sociales a través de un marco de Big data	Las técnicas de procesamiento de datos que permiten procesar un gran flujo de datos son: algoritmos de minería de datos y el uso de computación distribuida. El funcionamiento de estas técnicas es mediante la división de tareas en tareas más pequeñas, lo que permite un mayor procesamiento a una mayor velocidad.	Ecuador
31	2020	Carlos Hernán González-Campo, Vanessa Zamora Minab	Comportamiento de los agentes en el comercio electrónico según modelos de localización	Dentro del amplio espectro de la utilización de la Teoría de Juegos en la actividad económica, de entre sus muchas aplicaciones teóricas y empíricas concernientes a la toma de decisiones empresariales en forma de juegos, resalta la que tiene por objeto de estudio entender las relaciones entre las empresas en un contexto microeconómico, específicamente en el contexto del comercio electrónico.	Colombia
32	2022	Amanda Manes Koch Valdirene Gasparetto	Devolução leniente no e-commerce brasileiro de moda: o papel das trocas sociais	Forma en la que las grandes empresas brasileñas de comercio electrónico buscan establecer relaciones con sus consumidores. Las empresas que tienen la capacidad para satisfacer la demanda de devoluciones desarrollan prácticas para aumentar la satisfacción y reducir los riesgos percibidos por el consumidor, fomentando la confianza, y creando una relación recíproca y comprometida con el cliente.	Brasil

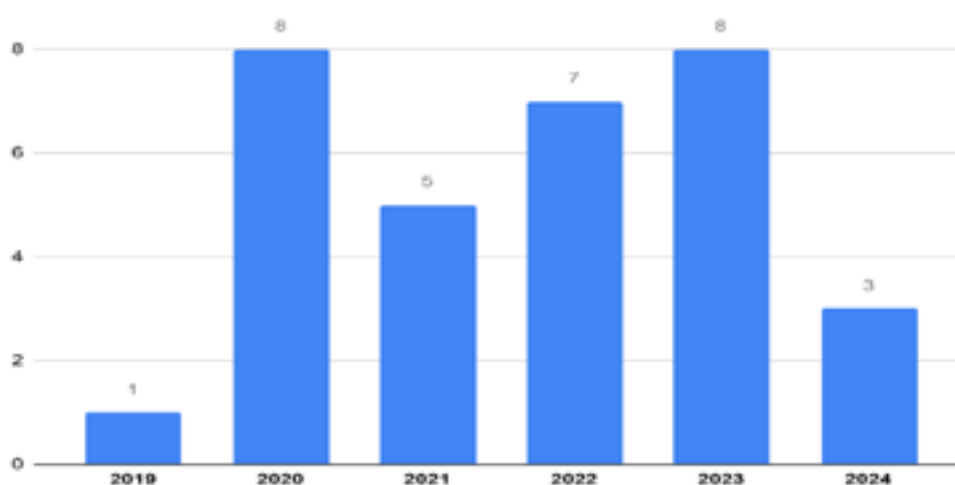
Fuente: Elaboración propia

3. Resultados y discusión

3.1. Revisión de artículos

El número de publicaciones de artículos de investigación relacionados con el tema de inteligencia artificial en el sector retail ha tenido un aumento como se puede apreciar en la figura 2. Los resultados mostrados indican que en comparación con el año 2020 a 2024 existe un aumento significativo. En base a los criterios de exclusión e inclusión explicados en la tabla 3, quedaron en total la cantidad de 32 artículos.

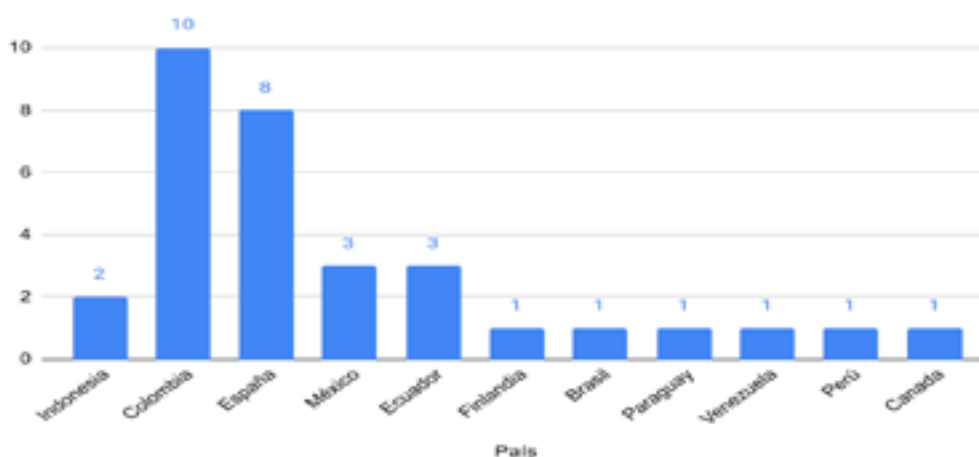
Figura N°2: Número de publicaciones por año



Fuente: Elaboración propia

En la figura 3 se aprecia la cantidad de publicaciones de 11 países, considerando los aportes encontrados para esta revisión sistemática de la literatura mencionada en la tabla 03.

Figura N°3: Cantidad de publicaciones por país



Fuente: Elaboración propia

3.2. Análisis de correlación de artículos

3.2.1. Beneficios del uso de la inteligencia artificial en el e-commerce.

La inteligencia artificial (IA) está revolucionando la forma en que las empresas interactúan con sus clientes, especialmente en el comercio electrónico. Su capacidad para procesar grandes cantidades de datos y aprender de ellos permite ofrecer experiencias personalizadas y eficientes, lo que a su vez aumenta la satisfacción del cliente (indicador nivel de servicio)

Principales formas en que la IA mejora la satisfacción del cliente en el comercio electrónico:

Personalización (customización): la realidad aumentada (AR) es una tecnología que utiliza elementos de la inteligencia artificial (IA). Brinda experiencias de compra de manera personalizada, aumentando la probabilidad de compra. El artículo citado tiene como objetivo principal la transformación en la experiencia de compra de prendas de vestir. (Cogua P., Hernández J., Rosas S.; 2023)

Ofertas personalizadas: la inteligencia artificial crea promociones y descuentos personalizados, haciendo que los clientes se sientan valorados y aumentando su nivel de satisfacción. El uso de la IA cada vez es más usado en las empresas del comercio electrónico porque permite un análisis predictivo del consumidor. (Del Valle, M; 2023)

Atención al cliente mejorada: el departamento de marketing debe hacer uso de los chatbots impulsados por IA, que pueden responder a las preguntas de los clientes de forma rápida y precisa, de manera ininterrumpida, reduciendo los tiempos de espera y mejorando la satisfacción del cliente. Adicionalmente, la IA puede automatizar las campañas de e-mail marketing y la creación de contenido para redes sociales. (Chávez J., 2021)

Resolución de problemas automatizada: en las compras del comercio electrónico, se almacenan gran cantidad de datos. Como resultado, poseen recursos de datos para obtener información valiosa y aplicarla de manera efectiva en las operaciones comerciales (X. Zhang et al., 2021), a través de la adopción de nuevas tecnologías como el big data y la ciencia de datos (Phang et al., 2019). La satisfacción del cliente es muy importante y es considerada uno de los pilares fundamentales para el éxito empresarial. Aplicando big data y ciencia de datos es posible resolver las interrogantes y problemas más habituales de los clientes, generando un mejor nivel de servicio. (Mardones-Espinoza et al., 2023)

Optimización de la logística: el análisis predictivo basado en IA ha revolucionado la gestión de inventario para los vendedores en línea, al lograr predecir vía patrones de demanda, y optimizar los niveles de inventario, reducir los desabastecimientos y minimizar las situaciones de falta de existencias o de productos en stock sin salida comer-

cial, logrando un enfoque proactivo que mejora la eficiencia operativa, y aumenta la satisfacción del cliente.

Detección de fraudes: El estudio presenta resultados para utilizar la minería de datos, que es parte de la inteligencia artificial, con el fin de prevenir futuros fraudes; mediante el uso de técnicas analíticas. (Giraldo L. et al, 2021). Una de las técnicas más usadas, según el estudio, con el 52% son algoritmos híbridos. Otras técnicas usadas son bosques aleatorios y máquinas de soporte vectorial.

Figura N°4: Beneficios del uso de la inteligencia artificial (IA) en el sector retail



Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Factores que influyen en la experiencia de compra online en el sector retail.

La intención de compra es la probabilidad de que los consumidores decidan comprar cierto producto en el futuro (Wu, Yeh & Hsiao, 2011). En el marco del comercio electrónico, la intención de compra se ha establecido como el deseo del consumidor de comprar un producto o servicio de una web (Ha & Janda, 2014). La literatura destaca que la intención de compra muestra una relación significativa con la compra efectiva (Park, Jeon & Sullivan, 2015).

Los factores que, de manera directa o indirecta, inciden en la recompra por internet son: el vínculo entre el consumidor y la marca, expresado en el compromiso del cliente y como este aspecto conduce a la lealtad; el vínculo entre los consumidores en línea

(electronic world of mouth, eWOM por sus siglas en inglés), el cual tiene como común denominador a una marca en específico; el estímulo que la marca establece en internet para conducir al consumidor a la compra a través de un sitio web o una aplicación. (Guevara M., Jiménez K., 2022)

Otros factores que influyen en la intención de compra online son: la percepción del consumidor compuesta por la actitud, percepción del entorno y control conductual; el perfil sociodemográfico del consumidor incluyendo la cultura, la clase social, tamaño de la familia, estatus y factores personales como la edad, la ocupación, la economía y el estilo de vida; la adopción a la innovación, que considera la percepción de la utilidad, la velocidad, el desempeño, la eficacia, la facilidad y la utilidad de la tecnología a utilizar y la facilidad de uso. (López, D., Terán M., 2020)

La usabilidad web, también se considera un factor influenciador en la compra del cliente. Está directamente relacionado con el rendimiento del sistema de comercio electrónico en la entrada de información y servicios y a su vez con el diseño de la web considerado como un elemento influyente al momento de determinar la percepción de calidad por parte de los usuarios. (Anaya-Sánchez, 2020)

La funcionalidad es otro factor influyente para la compra del cliente. Se refiere a las propiedades de los portales web durante la realización de una tarea (Stefani & Xenos, 2011). La funcionalidad incluye atributos como: velocidad de respuesta, utilidad de la información, métodos de contacto, ayuda y funciones de búsqueda, seguridad en el pago, protección de información y satisfacción del consumidor. (Huang & Benyoucef, 2017; Liao & Shi, 2017).

La sociabilidad web también influye en la compra del cliente ya que aprovecha el poder de la tecnología de una manera más colaborativa e interactiva, alentando a la creación de comunidades que conecten a los usuarios, proporcionando acceso a conocimientos y experiencias (Dennison et al., 2009).

Los aspectos claves del diseño web asociados con el aspecto de la actitud (evaluación cognitiva), influyen notablemente sobre la evaluación afectiva del usuario y que, existe una influencia positiva de la usabilidad sobre la evaluación afectiva, respaldando por completo la idea de que la usabilidad contempla aspectos tales como la satisfacción de los usuarios". (Anaya-Sánchez, 2020).

3.2.3. Aplicación de la inteligencia artificial que permiten la mejora en la experiencia de compra online en el sector retail

El uso de machine learning tiene gran relevancia en la predicción de datos para la deserción académica. Al ser un sistema basado estrictamente en datos, dependerá mucho de la calidad de estos para los posibles escenarios de predicción. (Asto M., Bermejo H.; 2023).

El aprendizaje automático es parte de la inteligencia artificial, la cual crea sistemas capaces de aprender de manera autónoma, analizan gran volumen de información y predicen posibles comportamientos futuros. Implementar esta herramienta en las empresas ha generado un gran impacto en la toma de decisiones. (Gómez K. et al., 2020)

El aprendizaje automático ya está afectando en nuestra vida diaria. Amazon utiliza el aprendizaje automático para predecir qué productos quieren comprar, Gmail lo usa para filtrar mensajes de spam de la bandeja de entrada y las recomendaciones de películas de Netflix se basan en algoritmos de aprendizaje automático (Norman, 2019).

La inteligencia artificial es una herramienta fundamental para el desarrollo del marketing digital debido a que crea mejores estrategias de marketing y por efecto aumenta el nivel de satisfacción del cliente. El uso de la IA a través de técnicas en las campañas de marketing digital en la personalización de mensajes, segmentación de audiencias, optimización de campañas publicitarias de pago tienen un efecto positivo en la percepción de la experiencia del cliente. (García-Pineda V. et al., 2024)

En las empresas, el conocimiento y los datos son de vital importancia para mejorar los procesos internos. Durante la última década para las empresas la gestión de la información ha pasado a ser considerada como uno de los principales activos de estas; debido a que con dicha información pueden crear y ofrecer productos y servicios más relevantes. Por ende, la información hoy en día es considerada una ventaja competitiva, siempre y cuando sea correctamente administrada por la empresa. (Garcés - Giraldo L., 2022).

3.2.4. Impacto del uso de la inteligencia artificial en la logística inversa para el sector retail.

El consumidor y las empresas de hoy en día son conscientes sobre la sostenibilidad del planeta, esto afecta directamente a las entregas de la última milla en el comercio electrónico. (González J. et al., 2023)

Una correcta estructuración de la logística inversa en el comercio electrónico promoverá la reutilización, remanufacturación y redistribución de productos. Esto genera un impacto beneficioso a la percepción del cliente. Una cadena de suministro bien implementada en las empresas para el comercio electrónico permitirá obtener ventajas competitivas. La cadena de suministro cuenta con gran relevancia en las actividades y operaciones del comercio electrónico. (Roldan M., et al, 2022).

El manejo de inventarios, la distribución de productos (última milla) y el factor servicio al cliente está alineado a la forma de venta de productos que según el artículo pueden ser por venta de productos en una sala de exposición, experiencia de compra en la tienda y venta de productos en línea.

El uso de cualquiera de las estrategias descritas anteriormente dependerá de factores como: producto estandarizado y nivel de valoración del producto (alto o bajo).

Si el producto es estandarizado y cuenta con un nivel de valoración alto, la empresa lo venderá tanto de manera presencial y en línea; sin embargo, si el producto es estandarizado pero el nivel de valoración es bajo, la venta será de manera presencial o en línea. Lo que se busca es, poder comprar el producto en línea y devolverlo en la tienda, aminorando los gastos de logística inversa (devoluciones).

4. Discusión

La inteligencia artificial (IA) se ha convertido en una herramienta estratégica para personalizar la experiencia de compra en línea en el sector retail. En un contexto donde los consumidores demandan rapidez y personalización, la IA permite analizar patrones de comportamiento en tiempo real, generando recomendaciones personalizadas de productos y facilitando una interacción más cercana y relevante.

La satisfacción del cliente es de vital importancia para la supervivencia de la empresa. Según cada perfil de cliente se pueden trabajar diferentes estrategias, al contar con la inteligencia artificial como herramienta principal y sub-herramientas tales como: business intelligence, machine learning, deep learning; entre otras, es uno de los factores clave para lograr tener un pleno nivel de satisfacción del cliente.

Otro punto que destaca en las investigaciones revisadas es que, actualmente los clientes y empresas buscan ser amigables con el medio ambiente, evitar el desperdicio de productos, desechos; entre otros. Desde el punto de vista de la cadena de suministro es una adecuada estrategia para la distribución de los productos, logística inversa y el nivel óptimo de los inventarios.

Cada cliente genera una gran cantidad de información (datos), con dicha información se pueden simular futuros escenarios de compras, lugares de entrega, métodos de pago usados; entre otros atributos relacionados directamente a los clientes. Desde el lado de la empresa, el procesamiento de esta información sirve para tomar decisiones en las áreas comercial, marketing digital, operaciones, supply chain y demás.

Con la implementación de la inteligencia artificial será una ventaja competitiva significativa, por el gran procesamiento de datos y convertirse en información relevante. Al adoptar esta tecnología, podemos responder de manera más ágil a las demandas del mercado, diferenciarnos de la competencia y lograr un crecimiento sostenible a largo plazo.

5. Conclusiones

El uso de la inteligencia artificial en el sector retail trae consigo grandes beneficios y uno de los más relevantes es la mejora de la experiencia del cliente en su interacción con el aplicativo web y/o móvil.

Los beneficios del uso de la inteligencia artificial en el sector retail son la personalización del servicio, elaboración de ofertas personalizadas al cliente, mejora en el proceso

de atención al cliente, la resolución automatizada de problemas, la optimización de la logística y la detección de fraudes.

Los principales factores que influyen en la experiencia de compra online en el sector retail son la lealtad del cliente, el vínculo entre los consumidores en línea (electronic word of mouth, eWOM) y el estímulo que establece la empresa para que el consumidor realice la compra online. Otros factores que influyen en la intención de compra online son: la percepción del consumidor, el perfil sociodemográfico del consumidor, la usabilidad, funcionalidad y sociabilidad del sitio web de compra.

Al conocer las tendencias de compra de los consumidores, mediante el uso de big data y machine learning, tendrá un efecto beneficioso porque se podrán crear productos en base a la información de los usuarios, con lo cual probablemente disminuirá el nivel de devoluciones de los productos.

6. Recomendaciones

- Utilizar la IA para crear experiencias personalizadas a cada cliente, desde recomendaciones de productos hasta comunicaciones personalizadas. Esto aumentará la satisfacción del cliente.
- El uso de algoritmos potenciados con inteligencia artificial optimiza las rutas de entrega, reduce las emisiones de carbono y minimiza los costos logísticos.
- Aplicar técnicas de análisis predictivo para identificar patrones de comportamiento de los clientes permitirá conocer futuras necesidades.
- Establecer alianzas con startups innovadoras para acceder a las últimas tecnologías y soluciones en IA.

7. Agradecimientos

Agradecemos a la revista CTS café por su consideración y por brindarnos la oportunidad de publicar este artículo, a nuestro profesor Jorge Roca por sus enseñanzas y a nuestras familias por su apoyo incondicional.

8. Literatura citada

- AFRILINDA, K. & ADINUGROHO, H. & GLORIA, J. (2022). THE ROLE OF GAMIFICATION, SOCIAL, HEDONIC AND UTILITARIAN VALUES ON E-COMMERCE ADOPTION
- BADENES, V. & MOLARES, J. (2023). LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL ANTE LOS RETOS DE LA INDUSTRIA DE LA MODA. BENEFICIOS Y APLICACIONES EN LA FASE DE COMERCIALIZACIÓN Y MARKETING
- BIN, A. & SHAIKHAH, A. & HAQUE, R. & AHMED, S. & KHALIL, I. & CHOWDHURY, B. (2023). ANTECEDENTS AND CONSEQUENCE OF TRUST - COMMITMENT TOWARDS ARTIFICIAL BASED CUSTOMER EXPERIENCE - ANTECEDENTES Y CONSECUENCIAS DE LA CONFIANZA: COMPROMISO HACIA LA EXPERIENCIA DEL CLIENTE BASADA EN ARTIFICIALES

- BUITRAGO, M. (2023). EL COMERCIO ELECTRÓNICO Y LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL
- CARDONA, C. & QUINTERO, S. & MORA, M. & CASTRO, J. (2021). INFLUENCIA DEL COMERCIO ELECTRÓNICO EN EL DESEMPEÑO FINANCIERO DE LAS PYMES EN MANIZALES, COLOMBIA
- COGUA, A COGUA, P. & HERNÁNDEZ, J. & ROSAS, S. (2023). USO DE REALIDAD AUMENTADA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA TRANSFORMAR LA EXPERIENCIA DE COMPRA
- CONSUMER EXPERIENCE AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A LITERATURE REVIEW. (2022). REVISTA DESAFIO ONLINE, 10 (3).ECONÓMICA EN TIEMPO REAL Y ALTA DEFINICIÓN
- EL COMERCIO ELECTRÓNICO Y LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL. (2023). GESTIÓN Y DESARROLLO LIBRE, 8 (16).
- GOMÉZ, K. & MAGALLAN, M. & MÉNDEZ, G. & RAMÍREZ, G. & GUARDA, T. & CORONEL, M. & OROZCO, J. & QUIRUMBAY, D. (2020). APLICACIÓN DEL APRENDIZAJE AUTOMÁTICO COMO SOLUCIÓN EN LOS SISTEMAS DE NEGOCIOS
- GONZÁLES, C. & ZAMORA, V. (2020). COMPORTAMIENTO DE LOS AGENTES EN EL COMERCIO ELECTRÓNICO SEGÚN MODELOS DE LOCALIZACIÓN
- GONZÁLEZ – ROMERO, I. & PRADO – PRADO J. (2023). LA ÚLTIMA MILLA SOSTENIBLE EN EL COMERCIO ELECTRÓNICO: IDENTIFICACIÓN DE LOS TEMAS DE INVESTIGACIÓN TRATADOS EN LA LITERATURA
- GUALDA, E. (2022). SOCIAL BIG DATA Y SOCIOLOGÍA Y CIENCIAS SOCIALES COMPUTACIONALES
- GUEVARA RODRÍGUEZ, M. V. Y JIMÉNEZ ALMAGUER, K. P. (2022). IMPULSORES DE LA INTENCIÓN DE RECOMPRA EN LÍNEA: UNA REVISIÓN DE LITERATURA. PAAKAT: REVISTA DE TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD, 12(22). [HTTP://DX.DOI.ORG/10.32870/Pk.A12N22.705](http://dx.doi.org/10.32870/Pk.A12N22.705)
- GUZMÁN, L., & CASTILLO, M. (2023). EL IMPACTO DE LOS CHATBOTS EN LA SATISFACCIÓN DEL CLIENTE EN EL COMERCIO ELECTRÓNICO. JOURNAL OF CUSTOMER INTERACTION, 17(3), 45-60.
- HELO. P. & HAO. Y. (2022). ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN OPERATIONS MANAGEMENT AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT: AN EXPLORATORY CASE STUDY
- HERNÁNDEZ, F. (2023). DESARROLLO DE SISTEMAS ANTIFRAUDE EN EL COMERCIO ELECTRÓNICO LATINOAMERICANO. INTERNATIONAL JOURNAL OF E-COMMERCE SECURITY, 10(4), 78-85.
- HERNÁNDEZ, L. (2022). EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA CONFIANZA DEL CONSUMIDOR SOBRE EL BOCA-OÍDO ELECTRÓNICO (E-WoM) EN TIENDAS DE COMERCIO ELECTRÓNICO EN COLOMBIA
- IZQUIERDO, J. & PESUDO, J. (2021). LOS GIGANTES TECNOLÓGICOS CONQUISTAN EL AUDIOVISUAL. EL CASO DE AMAZON PRIME VIDEO
- LEMUS, D. & PÉREZ, R. (2020). CIENCIA DE DATOS Y ESTUDIOS GLOBALES: APORTACIONES Y DESAFÍOS METODOLÓGICOS

- LÓPEZ, D. & TERÁN, M. (2020). ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA INTENCIÓN DE COMPRA ONLINE
- LÓPEZ, R., GONZÁLEZ, P., & RAMÍREZ, E. (2023). INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y EXPERIENCIA DE USUARIO EN EL DISEÑO DE PLATAFORMAS DE ECOMMERCE. *USER EXPERIENCE RESEARCH*, 14(1), 33-47.
- MADANCIAN, M. & TAHERDOOST, H. & JAVADI, M. & ULLAH, I. & KALANTARI, A. & KUMAR, D. (2024). THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN MODERN BUSINESS
- MÉNDEZ, Y. (2023). ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA LOGÍSTICA 4.0 EN COLOMBIA Y SU RELACIÓN FRENTE A LA INDUSTRIA, INNOVACIÓN, CONSUMO RESPONSABLE E INFRAESTRUCTURA Y PRODUCCIÓN PARA EMPRESAS DEL SECTOR RETAIL
- ORTIZ, A. & RODRIGO, T. (2023). BIG DATA PARA POLÍTICAS INTELIGENTES: POLÍTICA
- PÉREZ, J., & JIMÉNEZ, L. (2022). MARKETING DIGITAL SEGMENTADO EN EL SECTOR RETAIL CON IA. *JOURNAL OF MARKETING & AI*, 22(1), 102-115.
- PETRI HELO & YUQIUGE HAO (2022) ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN OPERATIONS MANAGEMENT AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT: AN EXPLORATORY CASE STUDY, *PRODUCTION PLANNING & CONTROL*, 33:16, 1573-1590, DOI: 10.1080/09537287.2021.1882690
- REBAZA, M. & RUTTI, G. (2024). ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA LOGÍSTICA DE DEVOLUCIONES EN LA VENTAJA COMPETITIVA DE LAS EMPRESAS DEL SECTOR RETAIL EN EL MARCO DEL COMERCIO ELECTRÓNICO
- RICO, D. & MAESTRE, G. & GUERRERO, C. & MEDINA, Y. & ARENIZ, Y. & SÁNCHEZ, M. & BARRIENTOS, E. (2021). UNIVERSIDAD INTELIGENTE: FACTORES CLAVES PARA LA ADOPCIÓN DE INTERNET DE LAS COSAS Y BIG DATA
- RIOLA, J. & FAJADRO, C. & DÍAZ, J. & MAYORGA, O. & GARNICA, M. (2020). DEFENSA 4.0: INTERNET DE LAS COSAS EN SISTEMAS DE BATALLA (IoBT) EN DEFENSA NAVAL
- RIVERA, M., & MARTÍNEZ, C. (2021). PREDICCIÓN DE DEMANDA Y OPTIMIZACIÓN DE INVENTARIOS EN EL SECTOR RETAIL MEDIANTE IA. *SUPPLY CHAIN & RETAIL INNOVATIONS*, 9(2), 64-72.
- ROBAYO, D. & DÍAZ, A. & RIVERA, I. & LONDOÑO, K. (2021). ANÁLISIS DEL ESTADO DEL COMERCIO ELECTRÓNICO DESDE LA PERSPECTIVA DEL CONSUMIDOR Y DE LAS PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS DE UN SECTOR SERVICIOS Y COMERCIO EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO PARA DETERMINAR SU IMPORTANCIA EN EL CONTEXTO ACTUAL DE LA PANDEMIA
- ROBAYO, D. (2020). EL COMERCIO ELECTRÓNICO: CONCEPTO, CARACTERÍSTICAS E IMPORTANCIA EN LAS ORGANIZACIONES

- RODRÍGUEZ, C. (2020). LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL RETAIL: OPTIMIZACIÓN Y MEJORA DE EXPERIENCIA DE CLIENTE
- ROLDÁN, M. & VALENCIA, M. & LÓPEZ, D. & RESTREPO, J. & VENGAS, J. (2022). OMNISCANALIDAD COMO ESTRATEGIA COMPETITIVA: UNA REVISIÓN CONCEPTUAL Y DIMENSIONAL
- RUIZ DÍAZ BENÍTEZ, J.R. (2023). DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA DE REFERENCIA EN LA LOGÍSTICA DE ABASTECIMIENTO INTELIGENTE DE ALMACENES MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGÍAS DE LA INDUSTRIA 4.0. CASO ALMACENES RETAIL DE LA CIUDAD DE PILAR. REVISTA SAPIENCIA-ISSN 3(2).
- RUIZ, J. (2023). DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA DE REFERENCIA EN LA LOGÍSTICA DE ABASTECIMIENTO INTELIGENTE DE ALMACENES MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGÍAS DE LA INDUSTRIA 4.0. CASO ALMACENES RETAIL DE LA CIUDAD DE PILAR
- SÁNCHEZ, R. & CASTRO, J. & GONZÁLEZ, E. (2020). PREFERENCIAS DEL CONSUMIDOR MILLENNIAL RESPECTO AL DISEÑO DE WEBS DE SOCIAL COMMERCE
- SILVA, J. & MACÍAS, B. & TELLO, E. & DELGADO, J. (2021). LA RELACIÓN ENTRE LA CALIDAD EN EL SERVICIO, SATISFACCIÓN DEL CLIENTE Y LEALTAD DEL CLIENTE: UN ESTUDIO DE CASO DE UNA EMPRESA COMERCIAL EN MÉXICO
- TRÁVEZ, A. VILLAFUERTE, C. (2024). ESTUDIO SOBRE EL USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA COMERCIALIZACIÓN EN LÍNEA DE ACCESORIOS DE MODA Y ARTÍCULOS COMPLEMENTARIOS. REVISTA SOCIAL FRONTERIZA; 4(4). [HTTPS://DOI.ORG/10.59814/RESOFRO.2024.4\(4\)385](https://doi.org/10.59814/resofro.2024.4(4)385)
- USO DE LA REALIDAD AUMENTADA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA TRANSFORMAR LA EXPERIENCIA DE COMPRA. (2023). REVISTA NOVA, 8 (1).
- VALDIRENE, A. (2022). DEVOLUÇÃO LENIENTE NO E-COMMERCE BRASILEIRO DE MODA: O PAPEL DAS TROCAS SOCIAIS
- VILLAFUERTE, C. & TRÁVEZ, A. (2024). ESTUDIO SOBRE EL USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA COMERCIALIZACIÓN EN LÍNEA DE ACCESORIOS DE MODA Y ARTÍCULOS COMPLEMENTARIOS.
- VILLEGAS, W. & GUAMBO, J. & SANCHEZ, S. & GAIBOR, J. (2022). ANÁLISIS DE SENTIMIENTO EN REDES SOCIALES A TRAVÉS DE UN MARCO DE BIG DATA
- ZHANG, T., LEE, S., & CHEN, Y. (2022). APLICACIÓN DE IA EN LA PERSONALIZACIÓN DE LA EXPERIENCIA DE COMPRA ONLINE EN EL RETAIL. E-COMMERCE & TECHNOLOGY REVIEW, 15(5), 147-16

Aplicación de herramientas de innovación tecnológica para la mejora del control de calidad en la línea de cosméticos en el mercado

Srta. María del Carmen Pereda Quispe
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: maria.pereda1@unmsm.edu.pe

Srta. Ibsen Ximena Condori Adco
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: ibsen.condori@unmsm.edu.pe

Resumen: Este estudio investiga la aplicación de herramientas de innovación tecnológica en la mejora del control de calidad en la industria de cosméticos, con el objetivo de evaluar su impacto en la reducción de productos defectuosos y en la optimización de procesos. Se utilizó un enfoque de revisión sistemática de la literatura (RSL) siguiendo las directrices PRISMA, analizando estudios relevantes publicados entre 2019 y 2024 a través de una búsqueda en la base de datos SCOPUS, Scielo y ScienceDirect. Los hallazgos indican que la implementación de tecnologías como YOLOv7, dispositivos GC-MS portátiles y el método aplicado basado en QuEChERS y HPLC-Q-TOF MS dentro del control de calidad ha permitido una identificación más precisa y objetiva de productos defectuosos, mejorando así la eficiencia y la productividad en la producción de cosméticos. Este análisis resalta la necesidad de un enfoque más amplio en la investigación de herramientas innovadoras para el control de calidad, sugiriendo que la adopción de estas tecnologías puede ser clave para cumplir con las crecientes expectativas de los consumidores y las regulaciones del sector. Además, se enfatiza la importancia de la identificación de los desafíos que presenta la implementación de estas nuevas tecnologías para maximizar los beneficios de estas herramientas en la industria cosmética.

Palabras Clave: Productos cosméticos / Herramientas/ Innovación tecnológica/ Control de calidad/ Mejora continua.

Abstract: This study investigates the application of technological innovation tools in improving quality control in the cosmetics industry, with the aim of assessing their impact on reducing defective products and optimizing processes. A systematic literature review (SLR) approach was used following PRISMA guidelines, analyzing relevant studies published between 2019 and 2024 through a search in the SCOPUS, Scielo and ScienceDirect databases. The findings indicate that the implementation of technologies such as YOLOv7, portable GC-MS devices and the applied method based on QuEChERS and HPLC-Q-TOF MS within quality control has allowed a more accurate and objective identification of defective products, thus improving efficiency and productivity in cosmetics production. This analysis highlights the need for a broader approach

in the research of innovative tools for quality control, suggesting that the adoption of these technologies may be key to meet increasing consumer expectations and sector regulations. In addition, the importance of identifying the challenges presented by the implementation of these new technologies is emphasized in order to maximize the benefits of these tools in the cosmetics industry.

Keywords: Cosmetic products/ Tools/ Technological innovation /Quality control /Continuous improvement.

Résumé: Cette étude examine l'application d'outils d'innovation technologique pour améliorer le contrôle qualité dans l'industrie cosmétique, dans le but d'évaluer leur impact sur la réduction des produits défectueux et l'optimisation des processus. Une approche de revue systématique de la littérature (RSL) a été utilisée conformément aux lignes directrices PRISMA, analysant les études pertinentes publiées entre 2019 et 2024 grâce à une recherche dans les bases de données SCOPUS, Scielo et ScienceDirect. Les résultats indiquent que la mise en œuvre de technologies telles que YOLOv7, les appareils GC-MS portables et la méthode appliquée basée sur QuEChERS et HPLC-Q-TOF MS dans le cadre du contrôle qualité a permis une identification plus précise et objective des produits défectueux, améliorant ainsi l'efficacité. et la productivité dans la production de cosmétiques. Cette analyse met en évidence la nécessité de se concentrer davantage sur la recherche d'outils innovants de contrôle qualité, suggérant que l'adoption de ces technologies pourrait être essentielle pour répondre aux attentes croissantes des consommateurs et aux réglementations du secteur. De plus, l'importance d'identifier les défis présentés par la mise en œuvre de ces nouvelles technologies est soulignée afin de maximiser les bénéfices de ces outils dans l'industrie cosmétique.

Mots-clés: Produits cosmétiques/ Outils/ Innovation technologique/ Contrôle qualité/ Amélioration continue.

1. Introducción

La industria de cosméticos ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, impulsada por la creciente demanda de productos de belleza y cuidado personal. Este crecimiento ha llevado a una mayor competencia entre las empresas, lo que a su vez ha elevado la importancia del control de calidad en la producción de cosméticos. La implementación de herramientas de innovación tecnológica se ha convertido en un factor clave para garantizar la calidad y seguridad de los productos ofrecidos al consumidor.

A pesar de los avances en la tecnología, la industria de cosméticos enfrenta retos significativos en el control de calidad, lo que afecta directamente la seguridad y satisfacción de los consumidores. La falta de aplicación de herramientas de innovación tecnológica dificulta la producción de cosméticos de calidad, comprometiendo no solo la confianza del cliente, sino también la competitividad de las empresas en un mercado en constante evolución. En este escenario, las regulaciones cada vez más estrictas y las crecientes

expectativas de los consumidores por productos naturales, sostenibles y personalizados añaden complejidad al proceso de fabricación.

La necesidad de mejorar el control de calidad en la producción de cosméticos es imperativa, no solo para cumplir con las expectativas del consumidor, sino también para asegurar la sostenibilidad y competitividad de las empresas en un mercado cada vez más exigente. Este estudio busca explorar cómo la adopción de herramientas de innovación tecnológica pueden abordar estos problemas y contribuir a la mejora continua en la industria.

La incorporación de tecnologías avanzadas, como sistemas de inspección automatizada y métodos de fabricación inteligentes, se presenta como una solución clave para optimizar los procesos de producción. Estas tecnologías no solo permiten detectar defectos o inconsistencias en fases tempranas, sino que también ayudan a mejorar la eficiencia operativa, reducir desperdicios y asegurar que cada lote cumpla con los más altos estándares de calidad.

El objetivo principal de esta revisión sistemática de la literatura (RSL) es identificar y analizar las herramientas de innovación tecnológica más efectivas para mejorar el control de calidad en la producción de cosméticos. Es crucial explorar cómo la adopción de tecnologías avanzadas puede optimizar los procesos de producción y asegurar que los productos cumplen con los estándares esperados. Se evaluará el impacto de estas herramientas en la reducción de productos defectuosos y en la optimización de procesos, así como los desafíos asociados con su implementación. La investigación busca identificar las mejores prácticas y herramientas disponibles para elevar el control de calidad en esta industria, lo que permitirá a las empresas mantenerse competitivas en un entorno dinámico y globalizado.

Este artículo se organiza en varias secciones. En primer lugar, se presenta la metodología utilizada para llevar a cabo la RSL, seguida de un análisis descriptivo de los estudios seleccionados. Posteriormente, se discuten los hallazgos y su relevancia en el contexto de la industria cosmética. Finalmente, se ofrecen conclusiones y recomendaciones prácticas para las empresas del sector.

2. Metodología

Para realizar el análisis e investigación de la implementación de la innovación tecnológica en la mejora del control de calidad en la industria de cosméticos, se optó por un enfoque sistemático enfocado en el periodo 2019-2024 para examinar las mejoras dentro del control de calidad siguiendo las directrices PRISMA. La estrategia de investigación se estructuró en torno a una pregunta de investigación clara, formulada con el apoyo del marco PICOC, donde cada uno de sus componentes nos permitirá encontrar palabras claves que posteriormente servirán para construir la ecuación. La pregunta central del estudio fue: "¿Cómo pueden las herramientas de innovación tecnológica mejorar el control de calidad en la producción de los productos de belleza?". Se desarrolló una ecuación de búsqueda avanzada combinando términos clave determinados

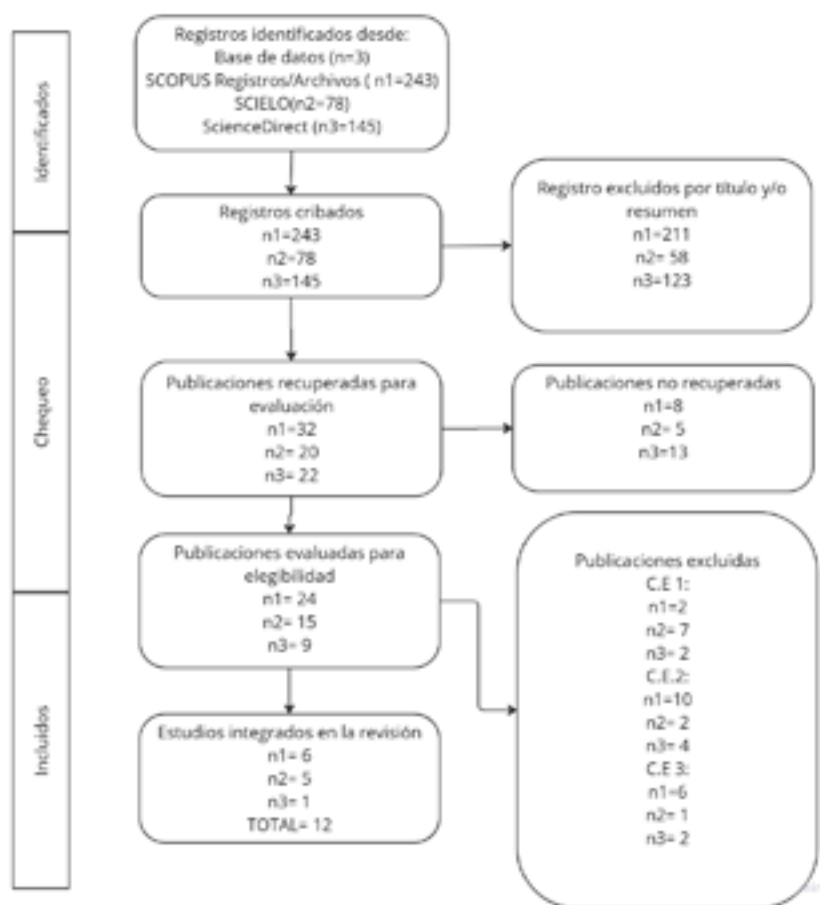
previamente relacionados con los cosméticos y la calidad y la innovación, utilizando operadores booleanos para maximizar la relevancia y precisión de los resultados: (TITLE-ABS-KEY (cosmetics) AND TITLE-ABS-KEY (quality AND control) AND TITLE-ABS-KEY (technology)) AND PUBYEAR > 2018 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Cosmetic") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Skin") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Quality Control") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Cosmetics") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Cosmetic Industry") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Technology")).

La búsqueda se llevó a cabo usando la base de datos en Scopus en octubre de 2024, aplicando filtros de tiempo (2019-2024), tipo de documento (artículo y ponencias de conferencias) , resultando en 243 registros iniciales. Además, se hizo uso de la base de datos Scielo y ScienceDirect siguiendo los mismos filtros y palabras clave para la búsqueda.

Para la filtración y selección se establecieron los siguientes criterios de selección:

- *Criterios de inclusión:* (1) estudios que abordan la mejora del control de calidad en la producción de cosméticos (2) reportando resultados cuantitativos y cualitativos sobre la mejora continua del control de calidad mediante su implementación en entornos reales.
- *Criterios de exclusión:* (1) trabajos referentes a otros temas (2) enfocados en otras industrias, y/o (3) artículos no relevantes para la mejora del control de calidad mediante la innovación tecnológica.

Luego de descargar de la base de datos Scopus, Scielo y ScienceDirect los datos o métricas de los estudios seleccionados, estos fueron exportados a un Excel donde se continuó con la fase de cribado por título y resumen. Se partió del análisis de los 243 artículos en la base de datos Scopus, de los cuales 211 fueron descartados por los criterios de inclusión y exclusión, quedando como artículos recuperados para su evaluación a texto completo una cantidad de 32 estudios. Cabe recalcar que 24 de ellos fueron recuperados por encontrarse con acceso restringido, debido a que se requería de una suscripción de pago monetario siendo una limitante en la investigación. En la base de datos Scielo se partió de análisis de 78 artículos de los cuales finalmente se seleccionaron 5 artículos y de Science Direct, se registraron 145 artículos de los cuales solo 1 cumplía con los criterios de inclusión.

Figura N° 1: Flujograma PRISMA de la filtración y evaluación de selección de estudios.**Fuente:**Elaboración propia

Existieron ciertos limitantes dentro de la revisión y selección como los artículos disponibles sin requerimiento de paga por suscripción, donde se pudo haber exonerado investigaciones importantes dentro del tema central del artículo. Además, la limitación a la industria de cosméticos excluyó hallazgos en otras industrias relacionadas. Por último, la revisión tuvo un filtro de rango de publicación entre 2019 y 2024, omitiendo información relevante de investigaciones pasadas que dejan aprendizajes y puntos relevantes para entender los hallazgos actuales. Todas estas limitantes sugieren que los resultados obtenidos reflejan una visión parcial por lo que debe ser interpretado con prudencia.

Tabla N°1: Datos descriptivos de los estudios seleccionados

Ref	Título	Año	País
[1]	YOLOv7-Based Anomaly Detection Using Intensity and NG Types in Labeling in Cosmetic Manufacturing Processes	2023	South Korea
[2]	Development and validation of a headspace needle-trap method for rapid quantitative estimation of butylated hydroxytoluene from cosmetics by hand-portable GC-MS	2020	Canadá
[3]	Rapid screening of 297 risk substances in cream cosmetics using quechers combined with hplc-q-tof ms	2023	China
[4]	Preliminary evidence of a molecular detection method to analyze bacterial DNA as a quality indicator in cosmetics.	2020	Italia
[5]	In-line cosmetic end-point detection of batch coating processes for colored tablets using multivariate image analysis.	2021	Canadá
[6]	Isolation of some pathogenic bacteria from student's makeup as a part of biosafety in the medical laboratories.	2020	Irak
[7]	Cosmetovigilancia, ¿La última vigilancia?	2023	España
[8]	Avaliação da qualidade de produtos cosméticos contendo ácido glicólico	2021	Brasil
[9]	Potentialities of the Colombian propolis in pharmaceuticals and cosmetics: A standpoint from the quality control	2019	Colombia
[10]	Determinación de plomo en diferentes marcas de labiales vendidos en México	2023	México
[11]	Desafios da nanotecnologia na permeação cosmética com cafeína	2022	Brasil
[12]	Inteligencia artificial en dermatología: ¿amenaza u oportunidad?	2022	España

Fuente: Elaboración propia

3. Resultados

Para la sección de resultados se cuenta con dos componentes principales: un análisis descriptivo de los artículos, seguido de un análisis de correlación de los artículos seleccionados con los objetivos de la RSL.

A. Análisis descriptivo de los artículos

El estudio se llevó a cabo con un enfoque sistemático que abarcó el periodo de 2019 a 2024. La tabla I resume los datos descriptivos principales de las publicaciones seleccionadas, incluyendo el título del estudio, el nombre de la revista, el año de publicación y el país de publicación de cada artículo.

Las 12 publicaciones evaluadas, provienen de diferentes revistas publicadas en el rango del 2019 hasta el 2024, donde la mayoría fue publicada el año 2023(33%) junto al año 2020 con el mismo porcentaje (Fig.1) La gráfica señalada, indica que los estudios señalados presentan gran actualidad lo que refleja el prematuro inicio de varias de estas investigaciones en la innovación tecnológica en el campo.

Gráfica N°1: Distribución de los estudios seleccionados y los años de publicación.



Fuente: Elaboración propia

Nota: El gráfico representa la comparación de los artículos seleccionados con su año de publicación entre el rango del 2019 hasta el 2024.

Respecto a la afiliación de los estudios, la mayoría de los artículos provenían de Brasil(16,67%), junto a países como Canadá y España (Fig.2). Esta distribución refleja el avance y el interés en la línea de cosméticos en países desarrollados que buscan implementar mejoras en esta industria.

Gráfica N°2: Distribución de los estudios seleccionados y los países de filiación

Fuente: Elaboración propia

Nota. El gráfico representa la comparación de los artículos seleccionados con su país de origen de filiación.

Gráfica N°3: Mapa coroplético de los países de filiación de los artículos seleccionados.

Fuente: Elaboración propia

Nota: El gráfico representa la ubicación de los países de origen de filiación.

B. Análisis de correlación de los artículos seleccionados

Herramientas de innovación tecnológica:

El uso de tecnologías como YOLOv7, la tecnología analítica de procesos en línea (PAT) y GC-MS portátil han mostrado ser de gran valor en este campo. Estas herramientas permiten una supervisión más precisa y una mejora continua en los procesos de elaboración de productos de belleza, donde en el contexto de los productos de belleza, Beak, S. et al. [1] YOLOv7 se puede aplicar para la inspección automática de productos durante el proceso de fabricación, permitiendo detectar defectos visuales en empaques o irregularidades en los productos con alta precisión, lo que optimiza el control de calidad y su capacidad para operar en tiempo real permite reducir el tiempo de inactividad de las líneas de producción, lo que a su vez mejora la eficiencia y asegura que los productos defectuosos se identifiquen antes de llegar al consumidor; y como lo expone Pereira, C. et al [5] la tecnología analítica de procesos en línea (PAT) permite medir variables clave como la homogeneidad de los productos, la viscosidad, o incluso la distribución de ingredientes activos en una crema o loción. Esto se realiza mientras el producto está siendo fabricado, lo que permite realizar ajustes inmediatos si se detectan desviaciones de los parámetros óptimos, además, la tecnología de análisis de procesos fomenta la reducción de desperdicios, mejora la consistencia del producto final y asegura que el proceso de producción sea más eficiente y controlado, lo cual es crítico para cumplir con las regulaciones de la industria de belleza y garantizar la satisfacción del cliente. También tenemos a la GC-MS portátil que es un nuevo método analítico de trampa de aguja para la determinación rápida de butylated hydroxytoluene en cosméticos.

Impacto de las herramientas de innovación:

Muchas de estas herramientas tienen un impacto significativo en la industria de los cosméticos como lo menciona Madurga, M. [7] la app "NotificaCS" desarrollada por la AEMPS, impactan significativamente al mejorar la cosmetovigilancia mediante la recolección de datos en tiempo real y la participación activa de usuarios y profesionales. Estas plataformas digitales optimizan la regulación, fortalecen la seguridad del consumidor y promueven la colaboración internacional, estableciendo un modelo para la vigilancia en sectores relacionados con la salud.

Otros de los ejemplos para poder evidenciar cómo es que estas herramientas tienen un buen resultado es en la investigación proporcionada por Rodríguez, V. et al. [10] donde la espectrofotometría de absorción atómica, han permitido identificar y cuantificar con precisión la presencia de plomo en lápices labiales, destacando la necesidad de desarrollar componentes alternativos más seguros y sustentables. Estas tecnologías no solo optimizan el control de calidad, sino que también impulsan la investigación de formulaciones cosméticas menos dañinas, promoviendo estándares más estrictos en la industria y mejorando la seguridad del consumidor. De la misma manera, Correa, M. et al. [9] nos refleja como el control de calidad mediante diferentes métodos innovadores pueden brindar un buen análisis a nuevas investigaciones como el uso de propóleos

colombianos para su uso en el campo cosmético logrando detectar aspectos no homogéneos con bajo porcentaje de error, con lo cual se replantea su uso en productos cosméticos y destacando su uso más como materia prima para futuros sistemas lipídicos.

Acota Martorell, A. *et al.* [12] en su artículo sobre cómo las herramientas de innovación basadas en inteligencia artificial están transformando la dermatología al mejorar el análisis de imágenes y el razonamiento diagnóstico. Aunque la IA no sustituirá al dermatólogo, su integración permite optimizar la práctica clínica, apoyar en contextos con recursos limitados y fortalecer la toma de decisiones. Sin embargo, su implementación debe ser progresiva, ética y colaborativa, impulsada por bases de datos amplias y la iniciativa de los especialistas para orientar su desarrollo hacia necesidades reales. Según los resultados de los análisis realizados por Oliveira Centurião, P *et al.* [8], donde se hicieron pruebas de control de calidad de productos cosméticos que contienen ácido glicólico, nos resalta la importancia de un buen control de calidad en productos cosméticos para poder garantizar seguridad a los clientes de esta industria y su bienestar.

Estas innovaciones han demostrado mejorar significativamente la eficiencia operativa, se ha reducido considerablemente el tiempo de inactividad, aumentando la productividad y minimizando las pérdidas, donde han sido clave para mejorar la calidad de los productos, garantizando consistencia y seguridad en la entrega al consumidor final, además hay una mejora en el rendimiento general de las líneas de producción gracias a la automatización y los sistemas de análisis en tiempo real.

Desafíos de implementación:

A pesar de los beneficios, existen barreras notables, como la costosa aplicación de estas tecnologías, falta de mano de obra especializada para manejar estas herramientas avanzadas, lo que puede limitar su adopción y el largo periodo de adaptabilidad, ya que las empresas necesitan tiempo para integrar completamente estas innovaciones y optimizar sus beneficios.

Estos desafíos se pueden evidenciar en el siguiente artículo observado donde Michelutti, L. *et al.* [4] menciona en su investigación que los desafíos de implementación incluyen la variabilidad en la recuperación de ADN según el tipo de célula, lo que requiere ajustes específicos en los protocolos de extracción. Además, la detección mediante qPCR enfrenta limitaciones como inhibidores presentes en las muestras y la necesidad de equipos avanzados y personal capacitado. Optimizar estos métodos y reducir costos son retos clave para su adopción en el control de calidad de cosméticos.

También se puede ver como las necesidades vistas en el método usado en la investigación de Tagh Reid, D. *et al.* [6] requieren del uso de tecnologías avanzadas, como sistemas automatizados y aprendizaje automático, para identificar y clasificar bacterias en cosméticos. Acotando lo reportado por la investigación se necesita integrar inteligencia artificial que pueda permitir optimizar la detección y análisis de contaminantes, reduciendo tiempos y errores, aunque este pueda requerir inversión en infraestructura tecnológica y capacitación especializada.

Vogela, E. *et al.* [11] nos menciona en su artículo, que en el caso de la aplicación de la nanotecnología en la industria de cosméticos, los principales desafíos que se pueden detectar son la infraestructura productiva y la falta de capacitación de investigadores en universidades con protección intelectual. Impulsar ello, puede brindar grandes oportunidades para los cosméticos nanotecnológicos que presentan una mayor calidad buscando desarrollar, aún más mejoras para esta innovación en cosméticos.

Estas herramientas tecnológicas no solo mejoran el control de calidad, sino que también elevan los estándares de la industria, permitiendo una producción más precisa, eficiente y sostenible. A pesar de los desafíos que enfrenta su implementación, como los altos costos y la necesidad de personal capacitado, su impacto es significativo en la búsqueda de una mayor competitividad y calidad en el mercado de productos de belleza.

4. Aportes y discusión

Este artículo presenta un enfoque sistemático para identificar y analizar las herramientas de innovación más efectivas en la mejora del control de calidad en la producción de productos de belleza. Se evalúa el impacto de estas herramientas desde la percepción del consumidor y se examinan los principales desafíos en su implementación para asegurar un control de calidad óptimo.

La utilidad de esta metodología de investigación, es dar a conocer el aporte significativo de las herramientas de innovación tecnológica en la industria del rubro de productos de belleza; ya que, la falibilidad humana, introduce variabilidad en los procesos de inspección de calidad. Factores como la fatiga, distracciones, juicios subjetivos y diferencias en la experiencia individual pueden derivar en inconsistencias e imprecisiones. Estos errores humanos pueden resultar en la aceptación de productos defectuosos o el rechazo de productos sin fallas, afectando tanto el control de calidad como la satisfacción del cliente. Por ejemplo, Beak, S. *et al.* [1] definen la herramienta YOLOv7 como un algoritmo basado en redes neuronales diseñado para la detección de objetos en tiempo real usado para la detección de anomalías con un enfoque de aprendizaje supervisado, donde este método mejora enormemente la precisión y eficiencia en el proceso de producción; por lo que, reduce el tiempo de inactividad, mejora la calidad general y el rendimiento.

Así como también, Ghosh, C *et al.*[2] desarrollaron un nuevo método analítico de trampa de aguja para la determinación rápida de butylated hydroxytoluene en cosméticos mediante una tecnología que utiliza un dispositivo GC-MS portátil. El butylated hydroxytoluene es usado en productos para el cuidado de la piel donde se tiene informado que la exposición prolongada tiene efectos perjudiciales en las personas y su detección debe ser imperativa. En el artículo citado se puede demostrar la viabilidad en el uso de esta herramienta, evitando procedimientos en el proceso de preparación de muestras de laboratorio y el análisis de este, facilitando la toma de decisiones rápidas en el control de calidad de las mismas.

También podemos evidenciar en diferentes investigaciones como la tecnología ha sido un gran método innovador en diferentes empresas como el método aplicado por Wang, L et al. [3] basado en QuEChERS y HPLC-Q-TOF MS para la detección rápida de 297 sustancias de riesgo en cosméticos. Este enfoque optimizado mejora la precisión y eficiencia del control de calidad, proporcionando límites de detección bajos y recuperaciones consistentes. Su aplicación asegura la seguridad en productos cosméticos mediante un cribado selectivo y confirmación cuantitativa

En los estudios revisados, las herramientas de innovación tecnológica han sido aplicadas individualmente para abordar problemas específicos de control de calidad. Esto destaca un avance relevante, ya que evidencia el desarrollo de modelos dirigidos a resolver desafíos en el control de calidad dentro de la producción de cosméticos. Los resultados obtenidos reflejan mejoras en productividad y una reducción significativa en la tasa de productos defectuosos, lo que subraya el potencial de estas herramientas para optimizar los estándares de calidad en el sector.

5. Conclusiones

El análisis de la aplicación de herramientas de innovación tales como YOLOv7, el dispositivo GC-MS portátil y el método aplicado basado en QuEChERS y HPLC-Q-TOF MS dentro del control de calidad en la producción de línea de productos de belleza, refleja una mayor precisión y eficiencia dentro del proceso. La identificación de productos defectuosos de una manera más precisa y objetiva subrayan la importancia de la implementación de estas herramientas dentro de la industria de la belleza, sin embargo, aún existen más problemas específicos de control de calidad que se pueden solucionar de la mano con estas herramientas que todavía no se han puesto a prueba. Esta investigación subraya la necesidad de un análisis de implementación de herramientas innovadoras como YOLOv7 y GC-MS portátil en más procesos de productos de belleza que puedan mejorar la precisión y estandarización de esta línea de productos. En última instancia, la implementación de estas herramientas innovadoras potencia los resultados finales de producción al aumentarla productividad mediante un control de calidad más rápido y objetivo disminuyendo la tasa de productos defectuosos por lo que, es crucial evaluar los desafíos que presenta para implementar nuevas innovaciones tecnológicas dentro de la línea de cosméticos.

6. Literatura citada

- [1] **S. BEAK, Y.-H. HAN, Y. MOON, J. LEE Y J. JEONG (2023)** “YOLOv7-BASED ANOMALY DETECTION USING INTENSITY AND NG TYPES IN LABELING IN COSMETIC MANUFACTURING PROCESSES”
- [2] **C. GHOSH, V.SINGH, J. GRANDY Y J. PAWLISZYN(2020)** “DEVELOPMENT AND VALIDATION OF A HEADSPACE NEEDLE-TRAP METHOD FOR RAPID QUANTITATIVE ESTIMATION OF BUTYLATED HYDROXYTOLUENE FROM COSMETICS BY HAND-PORTABLE GC-MS”
- [3] **L.WANG, G.-F.ZENG, Y.-Y.HOU, J.DONG, C.-L.CAI, K.-Y.XIAO, X.-C.ZHANG, J.-Y.LI Y J.-J. XIE (2023)**“RAPID SCREENING OF 297 RISK SUBSTANCES IN CREAM COSMETICS USING QUECHERS COMBINED WITH HPLC–Q–TOF MS”
- [4] **L. MICHELUTTI, M. BULFONI, V. BOLZON Y E. NENCIONI (2020)**“PRELIMINARY EVIDENCE OF A MOLECULAR DETECTION METHOD TO ANALYZE BACTERIAL DNA AS A QUALITY INDICATOR IN COSMETICS”
- [5] **C. PEREIRA, C. DUCHESNE, É. POULIN Y P. LAPOINTE (2021)**“IN-LINE COSMETIC END-POINT DETECTION OF BATCH COATING PROCESSES FOR COLORED TABLETS USING MULTIVARIATE IMAGE ANALYSIS”
- [6] **D. TAGHREID, A. AZIZ, H. ABDULLAH, A. HAFEDH, M. ABED Y A. SHALLAL (2020)**“ISOLATION OF SOME PATHOGENIC BACTERIA FROM STUDENTS' MAKEUP AS A PART OF BIOSAFETY IN THE MEDICAL LABORATORIES.”
- [7] **M. MADURGA (2023)**“COSMETOVIGILANCIA, ¿LA ÚLTIMA VIGILANCIA?”
- [8] **P. CENTURIÃO, P. DOS SANTOS, A. ROSA Y N. KASSAB (2021)**”AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PRODUTOS COSMÉTICOS CONTENDO ÁCIDO GLICÓLICO”
- [9] **Y. CORREA, M. ROJAS, C. MORA (2019)**“POTENTIALITIES OF THE COLOMBIAN PROPOLIS IN PHARMACEUTICS AND COSMETICS: A STANDPOINT FROM THE QUALITY CONTROL”
- [10] **V. RODRÍGUEZ, A. RÍOS, C. PAZ, J. PEÑA, S. GAMA Y M. ZAMORA(2023)**“DETERMINACIÓN DE PLOMO EN DIFERENTES MARCAS DE LABIALES VENDIDOS EN MÉXICO”
- [11] **E. M. VOGELA, M. BRONOSKI, L. L. M. MARQUES Y F. A. R. CARDOSO(2020)**“DESAFIOS DA NANOTECNOLOGIA NA PERMEACÃO COSMÉTICA COM CAFEÍNA”
- [12] **A.MARTORELL,A.MARTIN-GORGOJO,E.RÍOS-VÍNELA,J.M.RUEDA-CARNERO,F.ALFAGEME Y R. TABERNER (2021)**“INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN DERMATOLOGÍA: ¿AMENAZA U OPORTUNIDAD?”

Evaluación del uso de machine learning para la calidad en la producción de acero: revisión sistemática

Sr. Lionel Tito Lázaro
Universidad Tecnológica del Perú
Correo electrónico: U22315786@utp.edu.pe

Srta. Marisol Yeni López Condori
Universidad Tecnológica del Perú
Correo electrónico: 1615013@utp.edu.pe

Resumen: El control de calidad en la producción de acero es esencial para industrias como la construcción y la manufactura, donde los defectos pueden afectar la seguridad y las funciones de producción. En este contexto, las técnicas tradicionales de inspección manual, aunque efectivas en algunos aspectos, tienen limitaciones como la privacidad del trabajador, lo que conlleva tiempos largos y altos costos. Por ello, la aplicación del machine learning ha crecido en los últimos años como herramienta para automatizar y optimizar este proceso. El machine learning como las redes neuronales convolucionales (CNN) y las redes generativas adversarias (GAN) han demostrado precisión (superior al 95%) en la detección de defectos en superficies de acero laminado y galvanizado. Estos modelos se proporcionan como imágenes de alta resolución, videos y sensores multispectrales para el análisis de patrones y microestructuras. Además, implementarlo permite reducir los tiempos de inspección a milisegundos, aumentando la eficiencia y reduciendo los costos de producción. Sin embargo, existen limitaciones como la sensibilidad del modelo a las condiciones ambientales, la dependencia de bases de datos especializadas y los altos requerimientos computacionales. De igual forma, los dispositivos de captura de calidad en entornos industriales requieren de nuevas soluciones. En este contexto, se presenta una revisión sistemática para evaluar el impacto del machine learning en la producción de acero, destacando sus ventajas, limitaciones y perspectivas futuras. Los resultados confirman que la automatización con machine learning mejora la eficiencia operativa, el cual establece las bases para una producción de alta calidad en la industria del acero.

Palabras claves: Calidad del acero/ Industria manufacturera/ Machine learning/ Calidad.

Abstract: Quality control in steel production is essential for industries such as construction and manufacturing, where defects can affect safety and production functions. In this context, traditional manual inspection techniques, although effective in some aspects, have limitations such as worker privacy, which leads to long times and high costs. Therefore, the application of machine learning has grown in recent years as tools to automate and optimize this process. Machine learning such as convolutional neural networks (CNN) and generative adversarial networks (GAN) have demonstrated accuracy (over 95%) in detecting defects on rolled and galvanized steel surfaces. These models

are provided as high-resolution images, videos, and multispectral sensors for pattern and microstructure analysis. In addition, implementing it allows inspection times to be reduced to milliseconds, increasing efficiency and reducing production costs. However, there are limitations such as the sensitivity of the model to environmental conditions, dependence on specialized databases, and high computational requirements. Likewise, quality capture devices in industrial environments require new solutions. In this context, a systematic review is presented to assess the impact of machine learning on steel production, highlighting its advantages, limitations and future prospects. The results confirm that automation with machine learning improves operational efficiency, which lays the foundation for high-quality production in the steel industry.

Keywords: Steel quality/ Manufacturing industry/ Machine learning/ Quality.

Résumé: Le contrôle qualité dans la production d'acier est essentiel pour des secteurs tels que la construction et la fabrication, où les défauts peuvent affecter la sécurité et les fonctions de production. Dans ce contexte, les techniques d'inspection manuelle traditionnelles, bien qu'efficaces sous certains aspects, présentent des limites telles que la confidentialité des travailleurs, ce qui entraîne des délais longs et des coûts élevés. Pour cette raison, l'application de l'apprentissage automatique s'est développée ces dernières années en tant qu'outil permettant d'automatiser et d'optimiser ce processus. L'apprentissage automatique tel que les réseaux neuronaux convolutifs (CNN) et les réseaux contradictoires génératifs (GAN) ont démontré une précision (supérieure à 95 %) dans la détection des défauts sur les surfaces en acier laminé et galvanisé. Ces modèles sont fournis sous forme d'images haute résolution, de vidéos et de capteurs multispectraux pour l'analyse des motifs et de la microstructure. De plus, sa mise en œuvre permet de réduire les temps d'inspection à quelques millisecondes, augmentant ainsi l'efficacité et réduisant les coûts de production. Il existe cependant des limites telles que la sensibilité du modèle aux conditions environnementales, la dépendance à l'égard de bases de données spécialisées et les exigences informatiques élevées. De même, les dispositifs de capture de qualité dans les environnements industriels nécessitent de nouvelles solutions. Dans ce contexte, une revue systématique est présentée pour évaluer l'impact de l'apprentissage automatique dans la production d'acier, mettant en évidence ses avantages, ses limites et ses perspectives d'avenir. Les résultats confirment que l'automatisation associée à l'apprentissage automatique améliore l'efficacité opérationnelle, ce qui constitue la base d'une production de haute qualité dans l'industrie sidérurgique.

Mots-clés: Qualité de l'acier/ Industrie manufacturière/ Apprentissage automatique/ Qualité.

1. Introducción

La producción de acero es fundamental para industrias como la construcción y la manufactura. La calidad del acero es de suma importancia, y los progresos en el aprendizaje automático han facilitado una mejor precisión en la detección de defectos (MEF, 2023; MCTE, 2022). Investigaciones recientes indican que métodos como las redes neurona-

les convolucionales pueden lograr tasas de precisión del 91.14% en la identificación de fallas. Sin embargo, aún existen interrogantes sobre cómo se comparan estos enfoques con las inspecciones manuales en términos de eficiencia y costos (Schneider et al., 2024).

La necesidad de realizar una revisión sistemática surge debido a la dispersión de la información y la falta de acuerdo sobre las mejores estrategias para aplicar el machine learning en el control de calidad del acero (Akhyar et al., 2022; O'Donovan et al., 2024). Este análisis proporciona una visión actualizada para evaluar cómo estas tecnologías afectan a la industria.

El objetivo principal es comparar la precisión y la eficiencia del machine learning con respecto a los métodos manuales en la detección de defectos, examinando su efecto en los tiempos de inspección y los costos (Ahmed, 2023). Las preguntas clave incluyen: ¿Cuál es la precisión de estos sistemas frente a métodos tradicionales? y ¿Cómo impactan en la eficiencia operativa?

Esta revisión emplea la metodología PRISMA para garantizar una selección cuidadosa de estudios pertinentes (Haddaway et al., 2022). Se incluyeron investigaciones que examinan el machine learning en la inspección del acero, excluyendo aquellos artículos publicados antes de 2020. Este documento se encuentra ordenado por secciones. En la sección 2 se detalla la metodología realizada. La sección 3 se muestran los resultados obtenidos, los hallazgos relevantes sobre el machine learning y el impacto en la calidad del acero. En cuanto a la sección 4 contiene la discusión y finalmente, en la sección 5 se muestran las conclusiones obtenidas, brindándole relevancia a los beneficios del aprendizaje automático en la industria del acero.

2. Metodología de la investigación

Se realizó una revisión sistemática sin metaanálisis, utilizando la estrategia PICO para definir los componentes clave de la investigación. Una vez establecidos los elementos PICO, se formularon las preguntas de investigación científica. La pregunta general de investigación fue: RQ: ¿Cuál es el impacto que tiene la implementación de visión computacional y sistemas de machine learning en la eficiencia, precisión y rapidez de las inspecciones y el control de calidad en la producción del acero?. A partir de esta, se formularon preguntas más específicas: RQ1: ¿Cómo mejora la precisión de la inspección de defectos en acero con visión computacional frente a métodos manuales?, RQ2: ¿Cuál es la reducción en los tiempos de inspección gracias al machine learning en la producción de acero?, RQ3: ¿Qué modelos de machine learning son más eficientes para detectar defectos?, RQ4: ¿Cuáles son los métodos manuales de inspección actualmente utilizados y cómo se comparan con los automatizados?

Para formular estas preguntas de investigación específicas, se emplearon las siguientes palabras clave según el método PICO: P (calidad del acero, defectos superficiales, proceso de producción), I (machine learning, visión computacional, detección de defec-

tos), C (inspección manual, inspección visual, error humano), O (tiempo de inspección, precisión, eficiencia operativa).

La base de datos utilizada para realizar la búsqueda sistemática fue Scopus, donde se utilizó, las siguientes ecuaciones: ("computer vision" OR "machine vision" OR "artificial vision" OR "image analysis" AND "steel production" OR "metallurgical process" OR "steel manufacturing" OR "metal" AND "processing"), ("computer vision" OR "machine vision" OR "vision system" OR "image processing" AND "steel production" OR "steel manufacturing" OR "steel process" OR "steel industry").

Por otro lado, para esta metodología se propone la utilización de criterios de inclusión y exclusión, que sirvieron como filtros de selección de los documentos, los cuales se muestran en las siguientes tablas 1, 2:

Tabla N°1: Criterios de inclusión

Código	Criterio
CI1	Estudios sobre defectos físicos específicos en la producción de acero.
CI2	Evaluación de técnicas de visión computacional.
CI3	Publicaciones a partir del 2020.
CI4	Publicaciones en idiomas distintos del inglés.

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°2: Criterios de exclusión

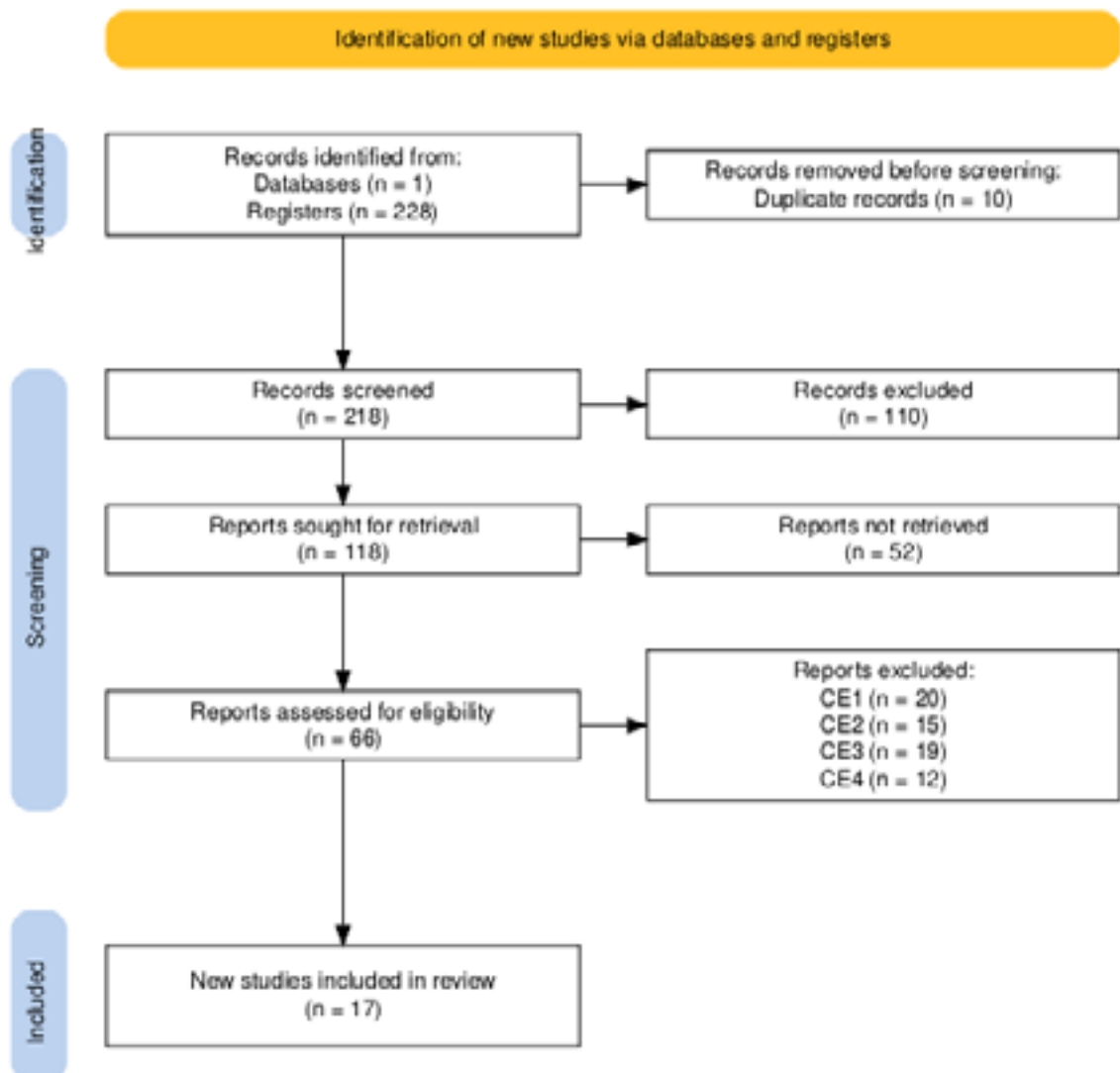
Código	Criterio
CE1	Estudios fuera de la industria del acero.
CE2	Foco exclusivo en técnicas manuales.
CE3	Teoría de visión computacional sin aplicaciones prácticas.
CE4	Defectos de superficie no detectables por visión computacional.

Fuente: Elaboración propia

Se eligió PRISMA para incluir todos los estudios relevantes en un área de investigación específica, minimizando así el proceso de selección (Haddaway et al., 2022). En total, se identificaron 228 artículos, de los cuales provienen de Scopus. Luego de eliminar 10 artículos duplicados, quedaron 218. Se excluyeron 110 tras la revisión del título y resumen, y 52 más porque no estaban disponibles a texto completo, obteniendo un total de 118. Finalmente, aplicando los criterios de inclusión y exclusión, se obtuvieron 17 artículos que cumplían con todos los requisitos para ser analizados, como se muestra

en el siguiente diagrama PRISMA, donde se destacan los aportes principales como se muestra en la tabla 3.

Figura N°1: Diagrama PRISMA de resultados



Fuente: Haddaway et al. (2022)

3. Resultados

En esta revisión de literatura, se ha encontrado que la implementación de machine learning y visión computacional, en el control de calidad en la producción de acero presenta ventajas significativas en comparación con los métodos tradicionales. Los resultados de estudios recientes, resumidos en la tabla 11, muestran que los modelos avanzados, como el DSTEELNet y EnsGAN-SDD, alcanzan precisiones de hasta un 97% y permiten una detección en tiempo real con tiempos de procesamiento tan bajos como 23 milisegundos por imagen (Ahmed, 2023; Akhyar et al., 2022), lo cual es nota-

blemente más rápido en comparación con los métodos manuales de inspección, que, debido a la subjetividad del operario, presentan variaciones en la precisión y un tiempo considerablemente mayor en cada evaluación.

A partir de los artículos revisados, se identifican dos factores principales que explican esta diferencia en rendimiento. El primero es la capacidad de los sistemas automatizados para analizar un mayor volumen de datos en menor tiempo, debido a la eficiencia de los algoritmos de machine learning que permiten identificar patrones y defectos sin intervención humana constante. Esto contrasta con la inspección manual, en la cual el operario debe analizar visualmente cada superficie de acero, siendo susceptible a errores y subjetividades, especialmente en defectos de menor tamaño o menos evidentes (Lin et al., 2023; Schneider et al., 2024).

El segundo factor es la escalabilidad y adaptabilidad de los sistemas de visión computacional, que pueden operar en tiempo real y adaptarse a diferentes entornos de producción mediante ajustes en los algoritmos y calibración de los dispositivos de captura. Sin embargo, como se observa en la tabla 15, la revisión sistemática ha revelado ciertas limitaciones en los sistemas automatizados; por ejemplo, los cambios de iluminación y las altas temperaturas en el entorno de producción pueden afectar la precisión de las cámaras y requieren calibraciones periódicas (Lin et al., 2023; O'Donovan et al., 2024).

Además, la disponibilidad y anotación de datos de alta calidad continúan siendo un desafío. La recolección de imágenes y su anotación, crucial para el entrenamiento de estos modelos, representa un proceso costoso y de alta demanda de tiempo, lo que limita

la implementación de estos sistemas en ciertos contextos de producción (Ahmed, 2023; Akhyar et al., 2022). A pesar de estas limitaciones, la precisión y rapidez que ofrecen las técnicas automatizadas en el control de calidad de acero sientan bases sólidas para futuras investigaciones y mejoras en la producción industrial (Lin et al., 2023; Schneider et al., 2024).

4. Análisis descriptivo de artículos

4.1. Análisis bibliométrico

La tabla 4 resume los datos bibliométricos principales de los estudios seleccionados, destacando el año, país, idioma, base de datos, tipo de publicación y métodos utilizados. La distribución temporal muestra un incremento, alcanzando su punto máximo en 2023 con un 31% de las publicaciones, reflejando el creciente interés en machine learning para inspección de acero. China lidera con un 38% de los estudios, seguida por el Reino Unido y Alemania (15% cada uno). Las publicaciones en inglés predominan (100%), y las bases más utilizadas son MDPI (31%), Springer e IEEE (15% cada una). La mayoría son artículos de revista (85%).

Entre los métodos destacan las redes neuronales convolucionales (CNN) y YOLOv8n mejorado, con precisiones superiores al 95% (Ahmed, 2023; Zhang, 2024). Estas tendencias subrayan la relevancia de machine learning en el control de calidad industrial, marcando avances tecnológicos significativos.

Tabla N°4: Métodos utilizados

Autores	Año	País de origen	Idioma	Base de datos	Tipo	Métodos utilizados
Ahmed, K. R.	2023	USA	English	MDPI	Journal Article	Redes neuronales convolucionales (CNN) fundamentadas en el aprendizaje profundo para la identificación de imperfecciones.
Lin, Y., Wang, P., et al.	2023	UK	English	Springer	Journal Article	Registro y combinación de imágenes para la medición de acero.
Akhyar, F., Furqon, E.N.	2022	Taiwan, Indonesia	English	MDPI	Journal Article	Redes generativas antagónicas (GANs)
Schneider, J., et al.	2024	Germany	English	HTM Journal	Journal Article	Inteligencia artificial para análisis micro-estructural en metalografía
O'Donovan, C., et al.	2024	UK	English	Springer	Journal Article	Análisis de imágenes para la supervisión de zinc fundido.
Luo, Q., et al.	2019	China	English	IEEE	Survey	Metodologías de detección visual de defectos
Fang, X., et al.	2020	China	English	MDPI	Survey	Métodos 2D/3D para detección de defectos superficiales
Guo, Z., et al.	2022	China	English	MDPI	Journal Article	YOLO mejorado para detección de defectos en superficies
Landgraf, J., et al.	2023	Germany	English	Materials Research Forum	Conference Paper	Segmentación semántica para detección de defectos

Zhouzhou Zheng et al.	2022	China	English	IOP	Journal Article	CASPPNet: Empleo de redes de pirámide espacial atrófica encadenada para optimizar la detección de imperfecciones en superficies de acero mediante la combinación de atención global y el perfeccionamiento de bordes.
Bin Xue, Zhisheng Wu	2021	China	English	Hindawi	Journal Article	Uso de visión artificial y extracción de características invariantes para la clasificación y segmentación de imperfecciones.
Kun Liu et al.	2019	China	English	IEEE	Journal Article	Algoritmo de descomposición de imágenes autoguiado para detección de defectos basado en características texturales y estructurales.
Zelin Zhang et al.	2024	China	English	Nature	Journal Article	Redes YOLOv8n optimizadas para identificar imperfecciones en componentes mecánicos recubiertos de óxido, incorporando enfoques de fusión multiescala.
Zhiqiang Hao et al.	2021	China	English	Wiley	Journal Article	Integración de información multidimensional y tecnologías de visión 3D para la inspección avanzada de imperfecciones en placas de acero.
Fabio Frustaci et al.	2022	Italy	English	MDPI	Journal Article	Aplicación de un sistema de visión robusto para la inspección automática en procesos de ensamblaje, integrando hardware y software para lograr alta velocidad y precisión.

Hiromi Nishiura et al.	2022	Japan	English	Oxford	Journal Article	Sistema de aprendizaje automático para evaluar la calidad de microestructuras de acero, utilizando imágenes de microscopio y métodos de aumento de datos.
------------------------	------	-------	---------	--------	-----------------	---

Fuente: Elaboración propia

4.2.Análisis comparativos

4.2.1. Definición de defectos físicos en el acero

La tabla 5 presenta una síntesis de los principales estudios sobre la definición de defectos físicos en el acero, subrayando su relevancia en aplicaciones industriales críticas. En primer lugar, los estudios enfocados en superficies de tiras de acero destacan defectos comunes como agujeros, rayaduras y grietas, señalando la importancia de la inspección visual automatizada para asegurar la calidad en sectores como el aeroespacial y automotriz (Ahmed, 2023; Guo et al., 2022; Landgraf et al., 2022; Xue et al., 2021; Liu et al., 2021; Hao et al., 2024).

Por otro lado, los estudios sobre acero galvanizado resaltan los defectos en el recubrimiento de zinc, tales como salpicaduras, que afectan la uniformidad y resistencia a la corrosión, destacando la necesidad de detección en tiempo real para mejorar la durabilidad del material (Schneider et al., 2023; Luo et al., 2019; Zheng et al., 2021).

Asimismo, se analizan defectos en el acero utilizado en los sectores aeroespacial, automotriz y de construcción, donde la calidad y precisión en la inspección son fundamentales para cumplir con altos estándares de seguridad (Lin et al., 2023; O'Donovan et al., 2024; Fang et al., 2018; Frustaci et al., 2022).

Además, la evaluación de microestructuras de acero y sus propiedades mecánicas se enfocan en aspectos como la resistencia a la corrosión y la distribución de carburos, elementos clave para la durabilidad del acero en aplicaciones industriales (Akhyar et al., 2023; Fang et al., 2018; Nishiura et al., 2022).

Finalmente, los estudios centrados en componentes mecánicos de acero sometidos a oxidación intensa destacan la inspección automatizada para asegurar la integridad en procesos de ensamblaje (Zhang et al., 2024; Hao et al., 2024; Frustaci et al., 2022).

Tabla N°5: Definición de defectos físicos en el acero

Definición de defectos físicos en el acero	N°	Autores
Las investigaciones se centran en las superficies de tiras de acero, examinando defectos comunes como agujeros, rasguños, grietas y pequeñas imperfecciones que son difíciles de identificar. Subrayan la relevancia de la precisión en la inspección visual automatizada para garantizar altos estándares de calidad y competitividad, especialmente en sectores críticos como la industria aeroespacial y automotriz.	6	Ahmed (2023); Guo et al. (2022); Landgraf et al. (2022); Xue et al. (2021); Liu et al. (2021); Hao et al. (2024)
Investigaciones sobre acero galvanizado, con énfasis en los procesos de inmersión en zinc y la influencia de defectos como salpicaduras que afectan la uniformidad del recubrimiento y la resistencia a la corrosión. Estas investigaciones resaltan la importancia de detectar defectos en tiempo real para optimizar la calidad del recubrimiento y la resistencia a la fatiga del material.	3	Schneider et al. (2023); Luo et al. (2019); Zheng et al. (2021)
Estudio del acero empleado en las industrias aeroespacial, automotriz y de construcción. Estos análisis destacan la relevancia de la calidad y la precisión en la inspección, utilizando tecnologías avanzadas para garantizar que el acero satisfaga los altos estándares exigidos en aplicaciones críticas.	4	Lin et al. (2023); O'Donovan et al. (2024); Fang et al. (2018); Frustaci et al. (2022)
Enfocados en la evaluación de microestructuras de acero y propiedades mecánicas específicas. Los estudios analizan cómo la inspección de calidad se realiza mediante análisis de microestructura, prestando especial atención a la resistencia a la corrosión, distribución de carburos y características físicas que aseguran la durabilidad del acero en aplicaciones industriales.	3	Akhyar et al. (2023); Fang et al. (2018); Nishiura et al. (2022)
Descripciones de estudios enfocados en componentes mecánicos de acero, sometidos a condiciones como la oxidación intensa y la precisión en ensamblaje. La inspección automatizada permite asegurar la calidad en procesos de ensamblaje industrial, evitando desplazamientos y asegurando la integridad de las piezas.	3	Zhang et al. (2024); Hao et al. (2024); Frustaci et al. (2022)

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Modelos de visión computacional

La tabla 6 muestra los modelos avanzados de visión computacional aplicados a la detección de defectos en acero. DSTEELNet y CNN con pirámides espaciales atrous permiten una detección precisa en tiempo real en superficies de acero laminado (Ahmed, 2023; Schneider et al., 2023; Luo et al., 2019; Fang et al., 2018). EnsGAN-SDD y DetectoRS optimizan la resolución de imagen, mientras que MSFT-YOLO basado en transformer mejora la precisión en defectos complejos (Akhyar et al., 2023; Guo et al., 2022; Landgraf et al., 2022). CASPPNet, con segmentación y fusión de características,

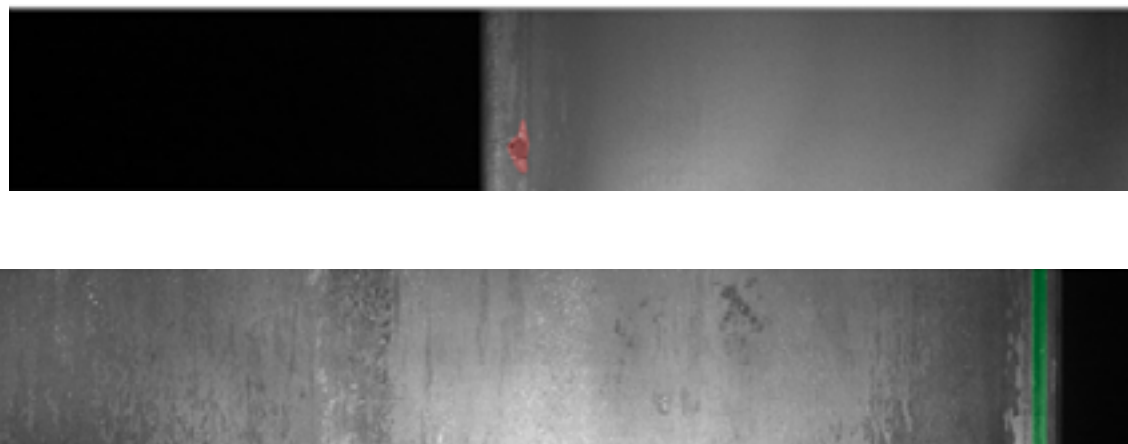
incrementa la precisión en ambientes ruidosos (Zheng et al., 2021; Xue et al., 2021; Hao et al., 2024).

Modelos como DCNN y YOLOv8n son utilizados para inspección de microestructuras y detección en componentes oxidados, con aceleración hardware-software (O'Donovan et al., 2024; Liu et al., 2021; Zhang et al., 2024; Nishiura et al., 2022). Finalmente, algoritmos de extracción de características de textura mejoran la identificación en superficies homogéneas de acero (Frustaci et al., 2022; Lin et al., 2023).

Tabla N°6: Modelos de visión computacional

Modelos de visión computacional	N°	Autores
Incluye modelos como DSTEELNet y redes convolucionales (CNN) con módulos de pirámide espacial atrous, utilizados para detectar defectos en tiras y superficies planas de acero en tiempo real. Estos modelos mejoran la precisión en la detección de defectos, especialmente en laminados en caliente y frío, al combinar diferentes técnicas de visión.	5	Ahmed (2023); Schneider et al. (2023); Luo et al. (2019); Fang et al. (2018)
Incluye modelos como EnsGAN-SDD que emplea redes generativas antagónicas (GAN) para mejorar la resolución de imagen y DetectoRS para alta resolución. También se destaca MSFT-YOLO basado en transformer, optimizado para manejar defectos complejos en entornos industriales, logrando una precisión mejorada en comparación con versiones anteriores.	3	Akhyar et al. (2023); Guo et al. (2022); Landgraf et al. (2022)
Se enfoca en la segmentación con redes como CASPPNet y la fusión de características multidimensionales para mejorar la precisión en la detección de defectos en acero, especialmente en condiciones industriales con alto ruido de fondo.	3	Zheng et al. (2021); Xue et al. (2021); Hao et al. (2024)
Utiliza modelos específicos como DCNN para el análisis de microestructuras en imágenes metalográficas y YOLOv8n mejorado para detectar defectos en componentes oxidados. Además, emplea sistemas de visión robustos con aceleración hardware-software y técnicas de aprendizaje automático para la inspección de microestructuras de acero.	4	O'Donovan et al. (2024); Liu et al. (2021); Zhang et al. (2024); Nishiura et al. (2022)
Incluye algoritmos avanzados de extracción de características de textura y procesamiento de imagen, diseñados específicamente para superficies de acero homogéneas, mejorando la precisión en la identificación de defectos visibles y detallados.	2	Frustaci et al. (2022); Lin et al. (2023)

Fuente: Elaboración propia

Figura N°2: Imagen y DETECTORS para alta resolución

Fuente: Akhyar, (2023).

Nota: Tiene la condición de defecto de superficie y tiene la condición de defecto.

4.2.3. Datos de entrada

La tabla 7 detalla los datos de entrada utilizados para la inspección de defectos en acero, esenciales para optimizar la calidad en distintas fases de producción. Imágenes de alta resolución capturadas en tiempo real, o mejoradas con superresolución, son fundamentales para detectar defectos como rayones y grietas en productos laminados en caliente y frío, lo que contribuye a la precisión en la inspección (Ahmed, 2023; Lin et al., 2023; Akhyar et al., 2023; Luo et al., 2019; Zheng et al., 2021).

Para superficies galvanizadas, las imágenes capturadas permiten analizar variaciones en el recubrimiento y texturas, útiles para detectar salpicaduras de zinc y realizar un análisis detallado de patrones superficiales (Schneider et al., 2023; Fang et al., 2018; Xue et al., 2021; Liu et al., 2021). Cámaras de alta velocidad y sensores 3D son empleados en la inspección de tiras laminadas en caliente, proporcionando una captura de imágenes en tiempo real que sostiene la eficiencia en la producción (Guo et al., 2022; Zhang et al., 2024).

Las imágenes multiespectrales y de fusión (térmica y visible) se utilizan para destacar defectos pequeños en condiciones complejas, permitiendo un análisis avanzado de la superficie (Landgraf et al., 2022; Hao et al., 2024). Finalmente, imágenes 2D, 3D, y micrografías permiten la alineación y evaluación de microestructuras, útiles para el análisis de estructuras internas tras tratamientos térmicos (O'Donovan et al., 2024; Frustaci et al., 2022; Nishiura et al., 2022).

Tabla N°7: Datos de entrada

Datos de entrada	N°	Autores
Se emplean imágenes de alta resolución de superficies de acero laminado, ya sea capturadas en tiempo real o mejoradas mediante superresolución. Estas imágenes facilitan la detección de defectos como rayones, grietas y deformaciones en productos laminados en caliente y frío, optimizando así el proceso de inspección de calidad.	5	Ahmed (2023); Lin et al. (2023); Akhyar et al. (2023); Luo et al. (2019); Zheng et al. (2021)
Se utilizan imágenes tomadas de superficies galvanizadas y texturas de acero plano para identificar variaciones en el recubrimiento y analizar patrones superficiales. Este tipo de información es particularmente valiosa para detectar salpicaduras de zinc y llevar a cabo un análisis exhaustivo de las texturas.	5	Schneider et al. (2023); Fang et al. (2018); Xue et al. (2021); Liu et al. (2021)
Cámaras de alta velocidad y sensores 3D registran imágenes en tiempo real, siendo perfectos para inspeccionar defectos en tiras de acero laminado en caliente. La rápida captura de imágenes ayuda a mantener la eficiencia en la línea de producción mientras se identifican defectos durante el proceso.	2	Guo et al. (2022); Zhang et al. (2024)
Se utilizan imágenes multiespectrales y técnicas de fusión (térmica y visible) para identificar defectos en tiempo real. Estas imágenes son especialmente efectivas para destacar defectos pequeños y facilitan un análisis detallado de la superficie de acero en condiciones complejas.	2	Landgraf et al. (2022); Hao et al. (2024)
Se utilizan imágenes 2D y 3D, así como micrografías y análisis microscópicos, para la alineación, medición geométrica y evaluación de microestructuras. Son especialmente valiosas en el análisis detallado de las estructuras internas y características de los productos de acero tras su tratamiento térmico.	3	O'Donovan et al. (2024); Frustaci et al. (2022); Nishiura et al. (2022)

Fuente: Elaboración propia

4.3.4. Variable que utilizan los modelos

La tabla 8 describe las variables principales utilizadas por los modelos de detección de defectos en acero, simplificando el enfoque técnico. Muchos modelos emplean análisis de textura de superficie y patrones usando transformada de Fourier y redes neuronales (CNN) para detectar rayones, grietas y variabilidad en superficies planas de acero (Ahmed, 2023; Lin et al., 2023; Luo et al., 2019; Fang et al., 2018).

Otros modelos aplican segmentación basada en dimensiones multifractales, enfocándose en un análisis detallado de las texturas para identificar variaciones en la superficie (Akhyar et al., 2023; Fang et al., 2018). También se utilizan características de microestructura, como distribución de carburos, para evaluar la calidad del acero (O'Donovan et al., 2024; Nishiura et al., 2022).

Para productos galvanizados, se asegura la uniformidad del recubrimiento de zinc mediante técnicas de sustracción de fondo, detectando salpicaduras y otros defectos (Schneider et al., 2023). Además, la transformada de Gabor y características morfológicas ayudan a identificar microgrietas y agujeros en superficies laminadas (Guo et al., 2022; Landgraf et al., 2022).

Algunos modelos combinan datos de textura, geometría y brillo para evaluar defectos de forma tridimensional (Hao et al., 2024; Frustaci et al., 2022). Finalmente, se emplea información semántica y propiedades de color para analizar defectos complejos, como aquellos en superficies oxidadas (Zheng et al., 2021; Xue et al., 2021; Zhang et al., 2024).

Tabla N°8: Variable principal utilizan los modelos

Variable principal utilizan los modelos	N°	Autores
Los modelos utilizan el análisis de la textura de la superficie, patrones de textura y espectros de energía. Emplean técnicas como la transformada de Fourier y redes neuronales convolucionales (CNN) para identificar defectos como rayones, grietas y variaciones en superficies planas de acero.	5	Ahmed (2023); Lin et al. (2023); Luo et al. (2019); Fang et al. (2018)
Modelos que utilizan segmentación de textura basada en dimensiones multifractales para detectar variaciones en la superficie del acero, centrándose en un análisis profundo y segmentación de texturas.	2	Akhyar et al. (2023); Fang et al. (2018)
Se emplean características de microestructura obtenidas a través de análisis metalográfico y la distribución de carburos para evaluar la calidad del acero y clasificar sus propiedades.	2	O'Donovan et al. (2024); Nishiura et al. (2022)
Se enfoca en la uniformidad del recubrimiento de zinc, utilizando técnicas de sustracción de fondo para identificar defectos de salpicaduras y garantizar la calidad en productos galvanizados.	1	Schneider et al. (2023)
Modelos que utilizan la transformada de Gabor y características morfológicas para identificar microgrietas y agujeros en superficies laminadas, aumentando la precisión en entornos industriales.	2	Guo et al. (2022); Landgraf et al. (2022)
Los modelos combinan información multidimensional, como textura, geometría y brillo, junto con datos tridimensionales, para llevar a cabo la segmentación geométrica y evaluar defectos.	2	Hao et al. (2024); Frustaci et al. (2022)
Modelos que emplean información semántica enriquecida, momentos invariantes y características de color para examinar defectos complejos, especialmente en componentes oxidados o en condiciones de difícil inspección.	3	Zheng et al. (2021); Xue et al. (2021); Zhang et al. (2024)

Fuente: Elaboración propia

4.3.5. Tamaño de muestra

La Tabla 9 sintetiza el tamaño de muestra utilizado en diversos estudios para analizar defectos en acero. En algunos casos, se emplearon grandes conjuntos de datos como NEU y Severstal, con aproximadamente 12,000 imágenes de defectos en tiras de acero, además de un dataset expandido mediante redes generativas adversariales y análisis de microestructuras basado en 2 millones de imágenes de microscopía óptica (Ahmed, 2023; Akhyar et al., 2023; O'Donovan et al., 2024).

Otros estudios capturan imágenes en tiempo real durante procesos de laminado y galvanizado, utilizando cámaras CCD y anotación de datos, aunque sin especificar un

número exacto de muestras (Lin et al., 2023; Schneider et al., 2023; Luo et al., 2019; Fang et al., 2018).

En condiciones controladas de laboratorio, se analizaron entre 1,200 y 2,500 muestras, considerando variables como temperatura, estrés mecánico y condiciones de producción normales para acero laminado en frío y galvanizado (Guo et al., 2022; Landgraf et al., 2022; Zheng et al., 2021; Xue et al., 2021).

Finalmente, en condiciones de alta producción industrial, se evaluaron entre 1,500 y 2,200 muestras bajo simulaciones de vibración y desgaste, tanto en línea de producción como en laboratorio, asegurando precisión en entornos industriales (Liu et al., 2021; Zhang et al., 2024; Hao et al., 2024; Frustaci et al., 2022; Nishiura et al., 2022).

Tabla N°9: Tamaño de muestra

Tamaño de muestra	N°	Autores
Se emplearon grandes conjuntos de datos como NEU y Severstal, con aproximadamente 12,000 imágenes de defectos en tiras de acero. También se usó un dataset expandido mediante redes generativas adversariales, partiendo de 5,000 imágenes, y un análisis de microestructuras basado en 2 millones de imágenes de microscopía óptica.	3	Ahmed (2023); Akhyar et al. (2023); O'Donovan et al. (2024)
Los estudios capturan imágenes en tiempo real durante procesos de laminado y galvanizado, utilizando sistemas de cámaras CCD y anotación de datos, aunque no se especifica un número exacto de muestras.	5	Lin et al. (2023); Schneider et al. (2023); Luo et al. (2019); Fang et al. (2018)
Los estudios analizaron entre 1,200 y 2,500 muestras en condiciones controladas de laboratorio, incluyendo variaciones de temperatura, estrés mecánico, y condiciones de producción normales en acero laminado en frío y galvanizado.	4	Guo et al. (2022); Landgraf et al. (2022); Zheng et al. (2021); Xue et al. (2021)
Incluyen entre 1,500 y 2,200 muestras evaluadas en condiciones de alta producción industrial, simulando condiciones de vibración y desgaste. Las evaluaciones se realizaron tanto en línea de producción como en ambientes de laboratorio para asegurar precisión en entornos industriales.	5	Liu et al. (2021); Zhang et al. (2024); Hao et al. (2024); Frustaci et al. (2022); Nishiura et al. (2022)

Fuente: Elaboración propia

4.3.6. Métodos de evaluación actuales para mejorar la calidad en la producción del acero

Los métodos de evaluación actuales para mejorar la calidad en la producción de acero están detallados en las Tablas 10, 11, 12 y 13, combinando técnicas manuales, automatizadas y machine learning. La Tabla 10 describe cómo la inspección visual bajo condiciones específicas (luz polarizada, alta temperatura) detecta defectos en aceros laminados y planos (Ahmed, 2023; Schneider et al., 2023). Herramientas como rayos X y ultrasonidos complementan la inspección visual para detectar grietas y defectos profundos (Akhyar et al., 2023; Luo et al., 2019). También se utilizan pruebas químicas y espectrometría para evaluar microestructuras y bordes en acero (Lin et al., 2023; Zheng et al., 2021).

La tabla 10 destaca sistemas automatizados en laminado en caliente y frío para inspección en tiempo real, asegurando calidad en tiras y láminas (Lin et al., 2023; Luo et al., 2019). En galvanización, los sistemas detectan defectos en recubrimientos de zinc (Schneider et al., 2023). Además, cámaras de escaneo optimizan la inspección continua en producción y corte final (Guo et al., 2022; Landgraf et al., 2022). Según la tabla 11, machine learning reduce los tiempos de evaluación a menos de un segundo, logrando eficiencias superiores al 99% frente a métodos manuales de hasta 50 minutos (Lin et al., 2023; Fang et al., 2018). Otros modelos procesan datos en 0.7 a 1.5 segundos, incluso en condiciones industriales complejas (O'Donovan et al., 2024; Schneider et al., 2023).

En la tabla 12 se detalla la inspección de productos bajo condiciones específicas. El acero estructural se evalúa en escenarios de alta temperatura y presión (Ahmed, 2023; Luo et al., 2019). El acero laminado y las chapas galvanizadas son inspeccionados para detectar desgaste y corrosión (Lin et al., 2023; Akhyar et al., 2023). También se analizan microestructuras en ambientes húmedos para oxidación y estrés mecánico (O'Donovan et al., 2024; Fang et al., 2018).

Las tablas 10, 11, 12 y 13 muestran cómo los métodos manuales, automatizados y machine learning contribuyen a mejorar la calidad en la producción de acero.

Tabla N°10: Métodos o técnicas manuales

Métodos o técnicas manuales	N°	Autores
Se lleva a cabo una inspección visual bajo condiciones específicas de iluminación y ambiente, como alta temperatura, oscuridad o luz polarizada.	4	Ahmed (2023); Schneider et al. (2023); Xue et al. (2021); Hao et al. (2024)
La inspección visual se apoya en herramientas como rayos X, ultrasonido y microscopía en frío para facilitar la identificación de grietas, defectos profundos y problemas en zonas oxidadas.	4	Akhyar et al. (2023); Luo et al. (2019); Landgraf et al. (2022); Liu et al. (2021)
Se emplean pruebas de laboratorio y análisis químico junto con la inspección visual para evaluar.	4	Lin et al. (2023); O'Donovan et al. (2024); Fang et al. (2018); Guo et al. (2022)
Se utilizan técnicas especializadas como luz polarizada, espectrometría y microscopía óptica para analizar bordes, grietas pequeñas y defectos irregulares en aceros planos y en las microestructuras de acero.	4	Zheng et al. (2021); Zhang et al. (2024); Frustaci et al. (2022); Nishiura et al. (2022)

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°11: Fase de producción se usan métodos automatizados

Fase de producción se usan métodos automatizados	N°	Autores
Los métodos automatizados se utilizan principalmente en el laminado en caliente y frío para supervisar y garantizar la calidad de productos planos de acero, como tiras y láminas. Esta etapa facilita la detección de defectos en tiempo real y aumenta la eficiencia de la producción.	4	Lin et al. (2023); Luo et al. (2019); Zheng et al. (2021); Zhang et al. (2024)
Los sistemas de inspección automatizada se aplican durante la galvanización para identificar en tiempo real defectos en el recubrimiento de zinc, garantizando la uniformidad y calidad del recubrimiento en productos de acero galvanizado.	2	Schneider et al. (2023); Xue et al. (2021)
En la producción continua de tiras de acero en caliente, se implementan cámaras de escaneo y otros sistemas automatizados para llevar a cabo inspecciones en tiempo real. Esto facilita la detección de defectos de superficie y contribuye a mejorar la eficiencia de la línea de producción.	3	Akhyar et al. (2023); Guo et al. (2022); Liu et al. (2021)

Tras la fase de enfriamiento y tratamiento térmico, se aplican técnicas de inspección automatizadas para analizar las microestructuras, garantizando el control de calidad antes del almacenamiento o el ensamblaje final.	3	O'Donovan et al. (2024); Hao et al. (2024); Nishiura et al. (2022)
La inspección automatizada se efectúa durante el procesamiento final, corte y empaque de láminas de acero para garantizar que las superficies estén libres de defectos antes de su envío. También abarca el posicionamiento en líneas de ensamblaje en algunas aplicaciones industriales.	3	Fang et al. (2018); Landgraf et al. (2022); Frustaci et al. (2022)

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°12: Tiempo de evaluación automatizada

Tiempo de evaluación automatizada	N°	Autores
El tiempo promedio de procesamiento con Machine learning es de 0.035 y 0.005 segundos, en contraste con los 25 a 30 minutos que se requieren manualmente. Esto representa una reducción de más del 99%.	2	Lin et al. (2023); Fang et al. (2018)
El machine learning reduce el tiempo de procesamiento a un rango de 0.1 a 0.195 segundos, en comparación con los 30 a 45 minutos que se requieren manualmente, logrando así una reducción de más del 99%.	3	Ahmed (2023); Akhyar et al. (2023); Fang et al. (2018)
Los promedios de tiempo utilizando Machine learning están entre 0.68 y 1.2 segundos, en contraste con los 10 a 20 segundos que demandan los métodos manuales, lo que produce reducciones notables.	3	Luo et al. (2019); Zheng et al. (2021); Liu et al. (2021)
El promedio de tiempo con machine learning varía entre 1.1 y 2 segundos, mientras que los métodos manuales toman entre 20 y 30 segundos, lo que resulta en eficiencias destacadas en el proceso de inspección.	5	Guo et al. (2022); Landgraf et al. (2022); Hao et al. (2024); Frustaci et al. (2022); Nishiura et al. (2022)
Los tiempos de procesamiento con machine learning oscilan entre 0.7 y 1.5 segundos, en contraste con los 12 a 50 minutos necesarios para los métodos manuales, lo que resulta en una mejora de eficiencia superior al 98%.	4	O'Donovan et al. (2024); Schneider et al. (2023); Xue et al. (2021); Zhang et al. (2024)

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°13: Productos pueden ser inspeccionados manualmente

Productos pueden ser inspeccionados manualmente	N°	Autores
Evaluación de muestras de acero estructural bajo diversas condiciones: 50 muestras en luz natural y vibración. 45 muestras en alta presión y temperatura. 55 muestras en baja presión y humedad. 60 muestras en alta temperatura.	4	Ahmed (2023); Schneider et al. (2023); Luo et al. (2019); Zhang et al. (2024)
Análisis de muestras de acero laminado en frío en condiciones variadas: 40 muestras a alta temperatura. 50 muestras bajo presión para detectar microfracturas. 55 muestras evaluadas en bordes bajo vibración	3	Lin et al. (2023); Zheng et al. (2021); Frustaci et al. (2022)
Inspección de chapas galvanizadas en condiciones controladas: 60 muestras de chapas en baja temperatura para detectar corrosión. 45 muestras de tiras en frío para desgaste y corrosión.	2	Akhyar et al. (2023); Liu et al. (2021)
Evaluación de acero inoxidable en entornos específicos: 35 muestras en ambientes húmedos. 40 muestras en alta vibración para estrés mecánico. 30 muestras en ambientes húmedos para oxidación. 35 muestras en alta vibración para adherencia.	4	O'Donovan et al. (2024); Fang et al. (2018); Guo et al. (2022); Xue et al. (2021)
Análisis en acero de herramienta y acero plano: 30 muestras de herramienta en humedad para desgaste y cortes. 40 muestras en calor para grietas. 50 muestras de acero plano en baja luz para porosidad. 40 muestras de herramienta en baja temperatura para fisuras.	4	Fang et al. (2018); Landgraf et al. (2022); Hao et al. (2024); Nishiura et al. (2022)

Fuente: Elaboración propia

4.3.7. Niveles de eficiencia de los modelos de machine learning y sus limitaciones

En el caso de los modelos de machine learning aplicados a la inspección de acero, una de las métricas más relevantes para medir su eficiencia es la precisión. Según la tabla 14, destacan los trabajos de Luo et al. (2019) y Hao et al. (2024), que alcanzan una precisión del 99% en texturas complejas y técnicas de aprendizaje profundo, seguidos de Ahmed (2023), Lin et al. (2023) y Schneider et al. (2023) con valores entre 95% y 98% en defectos como grietas y abolladuras. Por otro lado, modelos como los de O'Donovan

et al. (2024) y Frustaci et al. (2022) muestran una precisión del 92% al 95% en microestructuras y ensamblajes industriales.

Sin embargo; pese a estos resultados prometedores, aún existen limitaciones identificadas en la tabla 15. Por ejemplo, los sistemas enfrentan dificultades para detectar defectos pequeños o con texturas similares al fondo, lo que se atribuye a problemas de resolución (Ahmed, 2023; Akhyar et al., 2023). Además, factores como la sensibilidad a condiciones de iluminación y ruido visual afectan la estabilidad de los modelos en entornos industriales complejos (Lin et al., 2023; Zhang et al., 2024). Otra limitación es la dependencia de bases de datos poco diversas, lo que dificulta la generalización de los modelos en diferentes escenarios (Fang et al., 2018; Nishiura et al., 2022). Finalmente, en entornos con alto volumen de datos, equilibrar precisión y velocidad sigue siendo un desafío significativo (O'Donovan et al., 2024; Luo et al., 2019).

Estos resultados reflejan la necesidad de seguir optimizando los modelos de machine learning para superar las barreras actuales y mejorar su desempeño en aplicaciones reales.

Tabla N°14: Precisión del machine learning

Precisión del machine learning	N°	Autores
Alta precisión en modelos de detección de defectos en superficies de acero: 95% de precisión en redes neuronales profundas. 97% en superficies lisas. 98% en detección de grietas y abolladuras. 94% en detección de texturas. 97% en bordes y patrones repetitivos. 95% en detección de abolladuras.	6	Ahmed (2023); Lin et al. (2023); Akhyar et al. (2023); Schneider et al. (2023); Fang et al. (2018)
Modelos con alta precisión en bordes y defectos microscópicos: 96% con alta sensibilidad en bordes. 94.5% en defectos microscópicos. Superior al 95% usando segmentación avanzada.	3	O'Donovan et al. (2024); Guo et al. (2022); Zheng et al. (2021)
Precisión en condiciones específicas y texturas complejas: 99% en técnicas avanzadas de aprendizaje profundo. 96% en condiciones de ruido y baja iluminación. 93% en partes mecánicas corroídas. 97% utilizando fusión de información multidimensional.	4	Luo et al. (2019); Xue et al. (2021); Zhang et al. (2024); Hao et al. (2024)
Precisión en inspección de ensamblajes y microestructuras: 92% en láminas laminadas. 95% en líneas de ensamblaje complejas. 92.5% en estimación de calidad de microestructuras.	3	Landgraf et al. (2022); Frustaci et al. (2022); Nishiura et al. (2022)

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°15: Limitaciones

Limitaciones	N°	Autores
Los sistemas tienen dificultades para identificar defectos pequeños o de baja intensidad debido a su resolución limitada y a la dificultad para diferenciarlos de texturas que son similares al fondo.	3	Ahmed (2023); Akhyar et al. (2023); Liu et al. (2021)
Existe una alta sensibilidad a las condiciones de iluminación, el contraste y las variaciones de luz, lo que impacta la precisión, especialmente en superficies reflectantes o texturas complejas.	3	Lin et al. (2023); Landgraf et al. (2022); Hao et al. (2024)
El sistema presenta sensibilidad a interferencias como polvo, vibraciones y ruido visual, lo que afecta su estabilidad y robustez en entornos industriales complejos.	3	Schneider et al. (2023); Zheng et al. (2021); Zhang et al. (2024)
La dependencia de bases de datos con escasa diversidad complica la generalización de los modelos y genera variabilidad en los resultados, dependiendo de la preparación y anotación de las imágenes.	2	Fang et al. (2018); Nishiura et al. (2022)
Existen limitaciones en la segmentación y clasificación de defectos irregulares o poco comunes, así como dificultades para gestionar ruido en las imágenes y datos desbalanceados.	2	Luo et al. (2019); Xue et al. (2021)
Hay dificultades para equilibrar la precisión y la velocidad en la detección de defectos en tiempo real, especialmente en líneas de producción con un alto volumen de datos.	2	O'Donovan et al. (2024); Fang et al. (2018)
Las limitaciones de hardware dificultan la implementación de sistemas de visión que demandan un alto consumo computacional, lo que impacta la eficiencia en la inspección automatizada.	1	Frustaci et al. (2022)

Fuente: Elaboración propia

4.3.8. Mejora la evaluación de la calidad del acero utilizando machine learning

La aplicación de machine learning en la producción de acero ha optimizado significativamente los procesos de inspección y control de calidad. Según la tabla 16, los sistemas automatizados permiten reducir costos entre un 15% y un 53%, disminuyendo retrabajos, desperdicio de materiales y errores humanos (Ahmed, 2023; Lin et al., 2023; Luo et al., 2019; Hao et al., 2024). Además, se elimina la necesidad de inspecciones manuales redundantes y se optimizan tareas repetitivas, incrementando la eficiencia del proceso (Zheng et al., 2021; Xue et al., 2021).

Las ventajas de estas metodologías se detallan en la tabla 17, donde se observa un incremento del 10% en la producción y una reducción del 15% en defectos gracias al

control en tiempo real y la detección de problemas sin detener la línea de producción (Ahmed, 2023; Fang et al., 2018; Landgraf et al., 2022). La inspección automatizada también mejora la productividad al evitar interrupciones y permite identificar defectos en superficies oxidadas sin necesidad de procesos de limpieza previos (Zhang et al., 2024; Hao et al., 2024).

En cuanto a los resultados específicos, la tabla 18 destaca modelos como DSTEELNet y YOLOv5, que alcanzan precisiones superiores al 95%, con tiempos de inspección en milisegundos por imagen, optimizando el control de calidad en tiempo real (Ahmed, 2023; Schneider et al., 2023; Luo et al., 2019). Además, algoritmos avanzados de segmentación multifractal logran una precisión del 92% en superficies homogéneas y heterogéneas (Akhyar et al., 2023; Fang et al., 2018). La integración de machine learning también ha reducido falsos positivos en un 15% y mejorado la confiabilidad de los sistemas en líneas de producción (Fang et al., 2018; Zhang et al., 2024).

Las tablas 16, 17 y 18 evidencian como la implementación de machine learning ha transformado los procesos de inspección en la industria del acero, logrando una mayor eficiencia, reducción de costos y una calidad superior en los productos finales.

Tabla N°16: Alcance del método automatizado

Alcance del método automatizado	N°	Autores
La automatización en la inspección de acero permite una reducción de costes entre un 45% y un 53%, logrando mayor eficiencia en el proceso y reduciendo la necesidad de intervención manual en tareas repetitivas.	4	Ahmed (2023); Lin et al. (2023); Luo et al. (2019); Fang et al. (2018)
La automatización permite reducir costos en un 20% a 30%, optimizando el uso de personal y reduciendo los rechazos por falsos positivos en inspecciones.	3	Fang et al. (2018); Guo et al. (2022); Landgraf et al. (2022)
La automatización en inspecciones reduce entre un 18% y un 35% los costos asociados a retrabajos y desperdicio de materiales defectuosos, disminuyendo los errores humanos en el proceso.	4	Zheng et al. (2021); Xue et al. (2021); Liu et al. (2021); Zhang et al. (2024)
La implementación de sistemas automatizados ha reducido los costos en un rango del 15% al 40%, optimizando la clasificación, selección de materiales y eliminando inspecciones redundantes.	3	Hao et al. (2024); Frustaci et al. (2022); Nishiura et al. (2022)

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°17: Ventajas de la propuesta

Ventajas de la propuesta	N°	Autores
Las metodologías automatizadas permiten un control en tiempo real, mejorando la tasa de producción y reduciendo el desperdicio al disminuir los productos defectuosos y optimizar el flujo de producción, con un incremento estimado del 10% en la producción y una reducción del 15% en defectos.	5	Ahmed (2023); Lin et al. (2023); Akhyar et al. (2023); Schneider et al. (2023); Luo et al. (2019)
La visión computacional y la automatización de inspección permiten mantener un flujo continuo en la línea de producción, eliminando la necesidad de interrupciones para la inspección, lo que se traduce en mayor productividad y una mejora en la eficiencia del proceso.	5	Fang et al. (2018); Fang et al. (2018); Guo et al. (2022); Zheng et al. (2021); Xue et al. (2021)
La inspección automatizada en tiempo real reduce los errores humanos y permite detectar defectos sin detener la línea de producción, con beneficios adicionales en la remanufactura al evitar la necesidad de limpieza previa para identificar defectos en superficies oxidadas.	5	Landgraf et al. (2022); Liu et al. (2021); Zhang et al. (2024); Hao et al. (2024); Frustaci et al. (2022)
Las mejoras en la microscopía automatizada permiten un análisis consistente y fluido de microestructuras, optimizando el flujo de producción y reduciendo defectos en productos complejos.	2	O'Donovan et al. (2024); Nishiura et al. (2022)

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°18: Resultados de los estudios

Resultados de los estudios	N°	Autores
Modelos como DSTEELNet y YOLOv5 han alcanzado precisiones superiores al 95%, logrando tiempos de inspección en el rango de milisegundos por imagen. Esto ha optimizado el control de calidad en tiempo real, permitiendo una detección rápida y precisa de defectos en superficies de acero laminado y galvanizado.	5	Ahmed (2023); Lin et al. (2023); O'Donovan et al. (2024); Schneider et al. (2023); Luo et al. (2019)
Mediante redes convolucionales profundas y algoritmos avanzados de segmentación multifractal, los sistemas han mejorado significativamente en la resolución de imágenes y la segmentación de texturas complejas, logrando precisiones de hasta el 92% en superficies homogéneas y heterogéneas de acero.	4	Akhyar et al. (2023); Fang et al. (2018); Landgraf et al. (2022); Zheng et al. (2021)
La integración de machine learning en el procesamiento masivo de datos ha reducido falsos positivos en un 15% y optimizado el flujo de inspección, logrando tiempos de procesamiento de hasta 1 segundo por imagen y mejorando la confiabilidad en la identificación de defectos.	5	Fang et al. (2018); Guo et al. (2022); Xue et al. (2021); Zhang et al. (2024); Hao et al. (2024)
La automatización de la inspección mediante machine learning ha reducido significativamente los costos y ha mejorado la eficiencia de los procesos, alcanzando una precisión del 92.5% y superando la calidad de las inspecciones manuales en aceros especiales y otros productos metálicos.	3	Liu et al. (2021); Frustaci et al. (2022); Nishiura et al. (2022)

Fuente: Elaboración propia

5. Discusión

En esta revisión sistemática, se ha encontrado que la aplicación de machine learning en la inspección de acero ha mejorado significativamente la eficiencia y precisión de los procesos de control de calidad. Según Ahmed (2023) y Schneider et al. (2023), los modelos de machine learning alcanzan precisiones superiores al 95%, mientras que el tiempo promedio de procesamiento es de tan solo 0.035 a 1.5 segundos por imagen, en comparación con los tiempos manuales que pueden extenderse hasta 50 minutos (Lin et al., 2023; Fang et al., 2018). Esta diferencia se explica por dos razones principales. La primera es la capacidad de los sistemas automatizados para procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real, lo que elimina la dependencia del trabajo manual y los retrasos asociados. La segunda es la integración de técnicas avanzadas de segmentación y aprendizaje profundo, como las reportadas por Luo et al. (2019) y Hao et al. (2024), que optimizan la detección de defectos incluso en superficies complejas.

Sin embargo, aunque la automatización ha demostrado ser eficaz, se identificaron limitaciones importantes. Por ejemplo, los sistemas son sensibles a condiciones de iluminación, ruido visual y la resolución de las imágenes de entrada, lo que puede afectar su desempeño en entornos industriales desafiantes (Zheng et al., 2021; Zhang et al., 2024). Además, la dependencia de bases de datos limitadas en diversidad dificulta la generalización de los modelos a diferentes escenarios de producción (Fang et al., 2018; Nishiura et al., 2022). Finalmente, la implementación de estos sistemas requiere hardware de alto consumo computacional, lo que puede ser una barrera para empresas con recursos limitados (Frustaci et al., 2022). A pesar de estas limitaciones, los resultados de esta revisión subrayan que la automatización basada en machine learning ha sentado bases sólidas para una producción más eficiente y sostenible en la industria del acero.

6. Conclusiones

En este estudio se realizó una revisión exhaustiva de la literatura científica para analizar el impacto de machine learning en la inspección y control de calidad en la producción de acero. Los hallazgos destacan que la aplicación de métodos automatizados ha reducido significativamente los tiempos de inspección y ha mejorado la precisión, logrando eficiencias superiores al 95% en la detección de defectos.

La automatización permite no solo identificar defectos con mayor rapidez, sino también optimizar la producción al reducir los costos asociados al desperdicio y a los retrabajos. Además, su implementación minimiza los errores humanos, favoreciendo la sostenibilidad de los procesos industriales. No obstante, se identifican limitaciones relacionadas con la resolución de los sistemas, las condiciones del entorno y la dependencia de bases de datos específicas.

Aunque existen desafíos por superar, los avances en machine learning ofrecen un gran potencial para transformar la inspección de acero, marcando un camino hacia una producción más eficiente, rentable y de alta calidad. Es fundamental continuar investigando en la diversificación de bases de datos y en el desarrollo de tecnologías más accesibles para maximizar el impacto de estas herramientas en la industria.

7. Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Tecnológica del Perú (UTP) por su apoyo y por brindarnos las herramientas necesarias para desarrollar esta revisión sistemática.

De manera especial, reconocemos al docente Jorge Luis Roca Becerra por su valiosa guía y motivación, que fueron fundamentales para completar este trabajo con éxito.

8. Literatura citada

- AHMED, K. R. (2023). DSTEELNet: A REAL-TIME PARALLEL DILATED CNN WITH ATROUS SPATIAL PYRAMID POOLING FOR DETECTING AND CLASSIFYING DEFECTS IN SURFACE STEEL STRIPS. *SENSORS*, 23(1), 544. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/s23010544](https://doi.org/10.3390/s23010544)
- AKHYAR, F., FURQON, E. N., & LIN, C. (2022). ENHANCING PRECISION WITH AN ENSEMBLE GENERATIVE ADVERSARIAL NETWORK FOR STEEL SURFACE DEFECT DETECTORS (EnsGAN-SDD). *SENSORS*, 22(11), 4257. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/s22114257](https://doi.org/10.3390/s22114257)
- FANG, X., LUO, Q., ZHOU, B., LI, C., & TIAN, L. (2020A). RESEARCH PROGRESS OF AUTOMATED VISUAL SURFACE DEFECT DETECTION FOR INDUSTRIAL METAL PLANAR MATERIALS. *SENSORS*, 20(18), 5136. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/s20185136](https://doi.org/10.3390/s20185136)
- FANG, X., LUO, Q., ZHOU, B., LI, C., & TIAN, L. (2020B). RESEARCH PROGRESS OF AUTOMATED VISUAL SURFACE DEFECT DETECTION FOR INDUSTRIAL METAL PLANAR MATERIALS. *SENSORS*, 20(18), 5136. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/s20185136](https://doi.org/10.3390/s20185136)
- FRUSTACI, F., SPAGNOLO, F., PERRI, S., COCORULLO, G., & CORSONELLO, P. (2022). ROBUST AND HIGH-PERFORMANCE MACHINE VISION SYSTEM FOR AUTOMATIC QUALITY INSPECTION IN ASSEMBLY PROCESSES. *SENSORS*, 22(8), 2839. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/s22082839](https://doi.org/10.3390/s22082839)
- GUO, Z., WANG, C., YANG, G., HUANG, Z., & LI, G. (2022). MSFT-YOLO: IMPROVED YOLOv5 BASED ON TRANSFORMER FOR DETECTING DEFECTS OF STEEL SURFACE. *SENSORS*, 22(9), 3467. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/s22093467](https://doi.org/10.3390/s22093467)
- HAO, Z., WANG, Z., BAI, D., & ZHOU, S. (2021). TOWARDS THE STEEL PLATE DEFECT DETECTION: MULTI-DIMENSIONAL FEATURE INFORMATION EXTRACTION AND FUSION. *CONCURRENCY AND COMPUTATION PRACTICE AND EXPERIENCE*, 33(21). [HTTPS://DOI.ORG/10.1002/CPE.6384](https://doi.org/10.1002/cpe.6384)
- LANDGRAF, J. (2023). COMPUTER VISION FOR INDUSTRIAL DEFECT DETECTION. *MATERIALS RESEARCH PROCEEDINGS*, 25, 371-378. [HTTPS://DOI.ORG/10.21741/9781644902417-46](https://doi.org/10.21741/9781644902417-46)
- LIN, Y., WANG, P., WANG, Z., ALI, S., & MIHAYLOVA, L. (2023). TOWARDS AUTOMATED REMOTE SIZING AND HOT STEEL MANUFACTURING WITH IMAGE REGISTRATION AND FUSION. *JOURNAL OF INTELLIGENT MANUFACTURING*. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S10845-023-02251-9](https://doi.org/10.1007/s10845-023-02251-9)
- LIU, K., LUO, N., LI, A., TIAN, Y., SAJID, H., & CHEN, H. (2019). A NEW SELF-REFERENCE IMAGE DECOMPOSITION ALGORITHM FOR STRIP STEEL SURFACE DEFECT DETECTION. *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*, 69(7), 4732-4741. [HTTPS://DOI.ORG/10.1109/TIM.2019.2952706](https://doi.org/10.1109/TIM.2019.2952706)
- LUO, Q., FANG, X., LIU, L., YANG, C., & SUN, Y. (2020A). AUTOMATED VISUAL DEFECT DETECTION FOR FLAT STEEL SURFACE: A SURVEY. *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*, 69(3), 626-644. [HTTPS://DOI.ORG/10.1109/TIM.2019.2963555](https://doi.org/10.1109/TIM.2019.2963555)

- LUO, Q., FANG, X., LIU, L., YANG, C., & SUN, Y. (2020b). AUTOMATED VISUAL DEFECT DETECTION FOR FLAT STEEL SURFACE: A SURVEY. *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*, 69(3), 626-644. [HTTPS://DOI.ORG/10.1109/TIM.2019.2963555](https://doi.org/10.1109/TIM.2019.2963555)
- MINISTERIO DE TRABAJO Y PROMOCIÓN DEL EMPLEO (2021). ANUARIO ESTADÍSTICO SECTORIAL 2020. [HTTPS://CDN.WWW.GOB.PE/UPLOADS/DOCUMENT/FILE/2038301/ANUARIO_2020.PDF](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2038301/ANUARIO_2020.PDF)
- MINISTERIO DE TRABAJO Y PROMOCIÓN DEL EMPLEO (2022). ANUARIO ESTADÍSTICO SECTORIAL 2021. [HTTPS://WWW.GOB.PE/INSTITUCION/MTPE/INFORMES-PUBLICACIONES/3247012-ANUARIO-ESTADISTICO-SECTORIAL-2021](https://www.gob.pe/institucion/mtpe/informes-publicaciones/3247012-anuario-estadistico-sectorial-2021)
- NISHIURA, H., MIYAMOTO, A., ITO, A., HARADA, M., SUZUKI, S., FUJII, K., MORIFUJI, H., & TAKATSUKA, H. (2022). MACHINE-LEARNING-BASED QUALITY-LEVEL-ESTIMATION SYSTEM FOR INSPECTING STEEL MICROSTRUCTURES. *MICROSCOPY*, 71(4), 214-221. [HTTPS://DOI.ORG/10.1093/JMICRO/DFAC019](https://doi.org/10.1093/jmicro/dfac019)
- O'DONOVAN, C., GIANNETTI, C., & PLEYDELL-PEARCE, C. (2024). REAL-TIME MONITORING OF MOLTEN ZINC SPLATTER USING MACHINE LEARNING-BASED COMPUTER VISION. *JOURNAL OF INTELLIGENT MANUFACTURING*. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S10845-024-02418-Y](https://doi.org/10.1007/s10845-024-02418-y)
- SCHNEIDER, J., ROSTAMI, R., CORCORAN, M., & Korpala, G. (2024). INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO METALLOGRAPHY: AREA-WIDE ANALYSIS OF MICROSTRUCTURAL COMPONENTS OF A JOMINY SAMPLE. *HTM JOURNAL OF HEAT TREATMENT AND MATERIALS*, 79(1), 3-14. [HTTPS://DOI.ORG/10.1515/HTM-2023-0032](https://doi.org/10.1515/HTM-2023-0032)
- XUE, B., & WU, Z. (2021). KEY TECHNOLOGIES OF STEEL PLATE SURFACE DEFECT DETECTION SYSTEM BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE MACHINE VISION. *WIRELESS COMMUNICATIONS AND MOBILE COMPUTING*, 2021(1). [HTTPS://DOI.ORG/10.1155/2021/5553470](https://doi.org/10.1155/2021/5553470)
- ZHANG, Z., WANG, X., WANG, L., & XIA, X. (2024). SURFACE DEFECT DETECTION METHOD FOR DISCARDED MECHANICAL PARTS UNDER HEAVY RUST COVERAGE. *SCIENTIFIC REPORTS*, 14(1). [HTTPS://DOI.ORG/10.1038/S41598-024-58620-8](https://doi.org/10.1038/s41598-024-58620-8)
- ZHENG, Z., HU, Y., ZHANG, Y., YANG, H., QIAO, Y., QU, Z., & HUANG, Y. (2022a). CASPPNet: A CHAINED ATROUS SPATIAL PYRAMID POOLING NETWORK FOR STEEL DEFECT DETECTION. *MEASUREMENT SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 33(8), 085403. [HTTPS://DOI.ORG/10.1088/1361-6501/AC68D2](https://doi.org/10.1088/1361-6501/ac68d2)
- ZHENG, Z., HU, Y., ZHANG, Y., YANG, H., QIAO, Y., QU, Z., & HUANG, Y. (2022b). CASPPNet: A CHAINED ATROUS SPATIAL PYRAMID POOLING NETWORK FOR STEEL DEFECT DETECTION. *MEASUREMENT SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 33(8), 085403. [HTTPS://DOI.ORG/10.1088/1361-6501/AC68D2](https://doi.org/10.1088/1361-6501/ac68d2)

Aplicación de machine learning y visión por computadora en sistemas automatizados para la optimización del control de calidad en envases de hojalata

Sr. Luis Alejandro Mamani Garnique
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: luis.mamani21@unmsm.edu.pe

Sr. Pedro Antonio Velásquez Córdova
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: pedro.velasquez@unmsm.edu.pe

Resumen: El presente documento es una revisión sistemática de la literatura (RSL) que analiza el uso de herramientas de inteligencia artificial en la industria de envases de hojalata, enfocándose en su aplicación para mejorar el control de calidad del producto final. A través de un análisis de la literatura comprendida entre 2018 y 2024, se evaluaron tecnologías como machine learning y visión por computadora, destacando su implementación y el impacto positivo en la eficiencia productiva del sector. Utilizando la metodología PRISMA y el acrónimo PICOC para la selección de palabras clave y la formulación de preguntas de investigación, se identificaron y analizaron 13 artículos relevantes de la base de datos SCOPUS. Los resultados revelan mejoras significativas en la detección de defectos y la optimización de los procesos productivos, garantizando una mayor precisión en el control de calidad y reducción de tiempos de inspección y costos operativos. Estos hallazgos subrayan la importancia de adoptar tecnologías de IA en la industria de envasado de hojalata y en otros sectores con características similares, donde la automatización y el análisis avanzado de datos ofrecen soluciones más eficientes y sostenibles. Asimismo, la investigación resalta la relevancia de una adecuada capacitación del personal y un enfoque integral que contemple tanto los avances tecnológicos como la adaptación de los procesos a las necesidades específicas de cada planta industrial.

Palabras claves: Automatización/ Inteligencia artificial/ Machine learning/ PRISMA,/ RSL/ Visión por computadora.

Abstract: This document is a systematic literature review (SLR) that analyzes the use of artificial intelligence tools in the tin packaging industry, focusing on their application to improve the quality control of the final product. Through an analysis of the literature from 2018 to 2024, technologies such as machine learning and computer vision were evaluated, highlighting their implementation and positive impact on the sector's production efficiency. Using the PRISMA methodology and the PICOC acronym for keyword selection and research question formulation, 13 relevant articles from the SCOPUS database were identified and analyzed. The results show significant improvements in defect detection and optimization of production processes, ensuring greater

accuracy in quality control, as well as reduced inspection times and operational costs. These findings emphasize the importance of adopting AI technologies in the tin packaging industry and other sectors with similar characteristics, where automation and advanced data analysis offer more efficient and sustainable solutions. The research also underscores the importance of proper personnel training and an integrated approach that considers both technological advances and the adaptation of processes to the specific needs of each industrial plant.

Keywords: Automation/ Artificial intelligence/ Machine learning/ PRISMA/ SRL/ Computer vision.

Résumé: Ce document est une revue systématique de la littérature (RSL) qui analyse l'utilisation des outils d'intelligence artificielle dans l'industrie des emballages en étain, en se concentrant sur leur application pour améliorer le contrôle qualité du produit final. À travers une analyse de la littérature entre 2018 et 2024, des technologies telles que le machine learning et la vision par ordinateur ont été évaluées, en mettant en avant leur mise en œuvre et leur impact positif sur l'efficacité productive du secteur. En utilisant la méthodologie PRISMA et l'acronyme PICOC pour la sélection des mots-clés et la formulation des questions de recherche, 13 articles pertinents de la base de données SCOPUS ont été identifiés et analysés. Les résultats révèlent des améliorations significatives dans la détection des défauts et l'optimisation des processus de production, garantissant une plus grande précision dans le contrôle qualité, ainsi qu'une réduction des temps d'inspection et des coûts opérationnels. Ces résultats soulignent l'importance d'adopter les technologies d'IA dans l'industrie de l'emballage en étain et dans d'autres secteurs aux caractéristiques similaires, où l'automatisation et l'analyse avancée des données offrent des solutions plus efficaces et durables. La recherche met également en avant l'importance d'une formation adéquate du personnel et d'une approche intégrée qui prend en compte les avancées technologiques ainsi que l'adaptation des processus aux besoins spécifiques de chaque usine industrielle.

Mots-clés: Automatisation/ Intelligence artificielle/ Machine learning/ PRISMA/ RSL/ Vision par ordinateur.

1. Introducción

La industria de envasado de hojalata desempeña un papel fundamental en la cadena de suministro global, representando un componente crucial en la conservación y distribución de productos alimenticios y no alimenticios. (Tello-Macías & Herrera-Suárez, 2021)

Este sector, que abarca desde la fabricación de envases metálicos hasta su comercialización, ha crecido considerablemente en los últimos años, impulsado por la creciente demanda de soluciones sostenibles y eficientes en el embalaje. Esta no solo contribuye significativamente a la economía local y regional, sino que también es responsable de

la creación de miles de empleos, lo que la convierte en un pilar vital en muchos países. (Muñoz et al., 2021b)

Sin embargo, la competitividad de esta industria está siendo desafiada por la necesidad de adaptarse a un entorno en constante cambio, donde la calidad del producto y la eficiencia operativa son esenciales para satisfacer las demandas del mercado. En este contexto, la integración de herramientas de inteligencia artificial (IA) se presenta como una estrategia clave para optimizar procesos y mejorar el control de calidad. Tecnologías como el machine learning y la visión por computadora tienen el potencial de transformar los procesos de producción, permitiendo la detección de defectos en tiempo real y la automatización de inspecciones, lo que se traduce en una reducción de costos y un aumento en la productividad. (Donayre et al., 2023)

La mejora continua, entendida como un enfoque sistemático para identificar y eliminar ineficiencias, se convierte en un elemento crítico en este proceso de transformación (P et al., 2014). La implementación de metodologías basadas en IA no solo busca elevar la calidad del producto, sino también mejorar la eficiencia operativa y reducir el desperdicio en el proceso de fabricación. Estrategias como el mantenimiento predictivo y el análisis de datos en tiempo real se han establecido como prácticas efectivas para optimizar la producción y maximizar el rendimiento, permitiendo a las empresas adaptarse a las exigencias del mercado de manera más ágil y eficaz (Reina-Pérez et al., 2018).

A pesar de los avances en la adopción de herramientas de IA, la industria de envasado de hojalata enfrenta desafíos significativos en su implementación. La variabilidad en la adopción de estas tecnologías, junto con la falta de un conocimiento profundo sobre las mejores prácticas y su aplicación específica en este sector, han generado brechas que limitan el potencial de mejora (Muñoz et al., 2021b). Este escenario destaca la necesidad de una exploración sistemática y profunda sobre el impacto de las herramientas de IA en el control de calidad y la productividad, así como de identificar enfoques que sean más adecuados a las particularidades de la industria de envasado de hojalata.

Con el objetivo de abordar estas brechas, la presente revisión sistemática de la literatura (RSL) tiene como finalidad analizar y sintetizar la literatura reciente disponible (2019-2024) sobre la aplicación de herramientas de inteligencia artificial en la industria de envasado de hojalata. A través de una evaluación exhaustiva de estudios publicados, se busca identificar los enfoques y tecnologías que han demostrado ser más efectivas para mejorar la calidad del producto y la eficiencia operativa, así como los desafíos asociados a su implementación. Este análisis contribuirá a ofrecer una comprensión amplia y detallada que sirva como base para futuras investigaciones y prácticas en el campo, promoviendo así la mejora continua y la competitividad en la industria de envasado de hojalata a nivel global.

2. Material y métodos

Se llevó a cabo una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) abarcando el periodo 2019-2024 y se consideró los avances en la implementación de tecnologías de IA y sistemas automatizados, esta se basa en los elementos clave del protocolo PRISMA, lo que permitió realizar un proceso riguroso de selección y análisis de estudios.

La metodología se desarrolla en dos etapas principales: preparación y análisis. La fase de preparación abarca la definición de palabras clave para el estudio, la definición de los criterios de elegibilidad para los artículos, la ejecución de las búsquedas y la selección de los artículos que cumplan con los criterios establecidos. Por otro lado, la fase de análisis implica la extracción de datos de los artículos seleccionados, su análisis, la presentación de los resultados, la discusión de los hallazgos y la elaboración de las conclusiones del estudio.

2.1. Definir las palabras clave

Se desarrolló una estrategia estructurada que inició con la formulación de una pregunta de investigación orientada por el marco PICOC (población, intervención, comparativo, resultados y contexto) para guiar eficazmente la selección y análisis de estudios pertinentes. La pregunta principal de la investigación fue: “¿Cuál es el impacto de las herramientas de inteligencia artificial, como el machine learning y visión por computadora, en la mejora de la calidad de los envases de hojalata?”. Esto permitió el desarrollo del siguiente marco para guiar eficazmente la selección de estudios.

Tabla N°1: Marco PICOC

	DESCRIPCIÓN	PALABRAS CLAVE	
		ESPAÑOL	INGLÉS
P	Población	Envases de hojalata	Tinplate packaging
I	Intervención	Uso de inteligencia artificial	Use of artificial intelligence
C	Comparación	Métodos tradicionales vs IA	Traditional methods vs AI
O	Resultados	Calidad del envasado	Packaging quality
C	Contexto	Industria manufacturera	Manufacturing industry

Fuente: Elaboración propia.

Se estableció una ecuación de búsqueda basado en el planteamiento anterior que se utilizó para la búsqueda de literatura, el cual utilizó operadores booleanos e incluyó los siguientes términos clave: TITLE-ABS-KEY (("packaging" OR "tinplate" OR "tinplate packaging" OR "metal cans" OR "tin cans" OR "steel packaging" OR "metal packaging") AND ("artificial intelligence" OR "AI" OR "machine learning" OR "computer vision" OR "automation" OR "intelligent systems" OR "cognitive computing" OR "automation" OR "smart farming" OR "algorithms" OR "data analytics") AND ("quality control" OR "optimization" OR "industrial processes" OR "manufacturing" OR "defect detection" OR "inspection systems" OR "monitoring" OR "production processes" OR "process improvement" OR "fault detection")) AND (PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2025) AND (DOCTYPE (ar OR cp)) AND (LANGUAGE ("English" OR "Spanish")) AND (SUBJAREA ("ENGI" OR "COMP" OR "MATE" OR "BUSI" OR "ENER" OR "CENG")). Esta búsqueda se realizó en la base de datos Scopus en octubre de 2024, aplicando los filtros de tiempo (2019-2024), tipo de documento (artículos y ponencias de conferencia) y área temática (ingeniería industrial).

2.2. Establecer criterios de elegibilidad

Para la filtración y selección también fueron aplicados los siguientes criterios de selección de estudios.

2.2.1. Criterios de inclusión

- Estudios previos que hayan estudiado y aplicado herramientas de IA en la producción de envases de hojalata. (C.I. 1)
- Estudios que analicen la aplicación de las herramientas machine learning y visión por computadora en la producción de envases de hojalata.
- Investigaciones relacionadas con la automatización e implementación de sistemas autónomos para el control y monitoreo de la producción. (C.E. 2)
- Documentos que presenten estudios cuantitativos y cualitativos sobre mejoras en el control de calidad. (C.I. 3)

2.2.2. Criterios de Exclusión

- Documentos que no estén relacionados con la producción de envases de hojalata. (C.E. 1)
- Estudios en los que no se haga mención del uso de herramientas de IA, machine learning, visión por computadora o sistemas automatizados. (C.E. 2)
- Documentos que no presenten estudios empíricos o que se limiten a enfoques teóricos. (C.E. 3)
- Artículos publicados en idiomas diferentes al español o inglés. (C.E. 4)

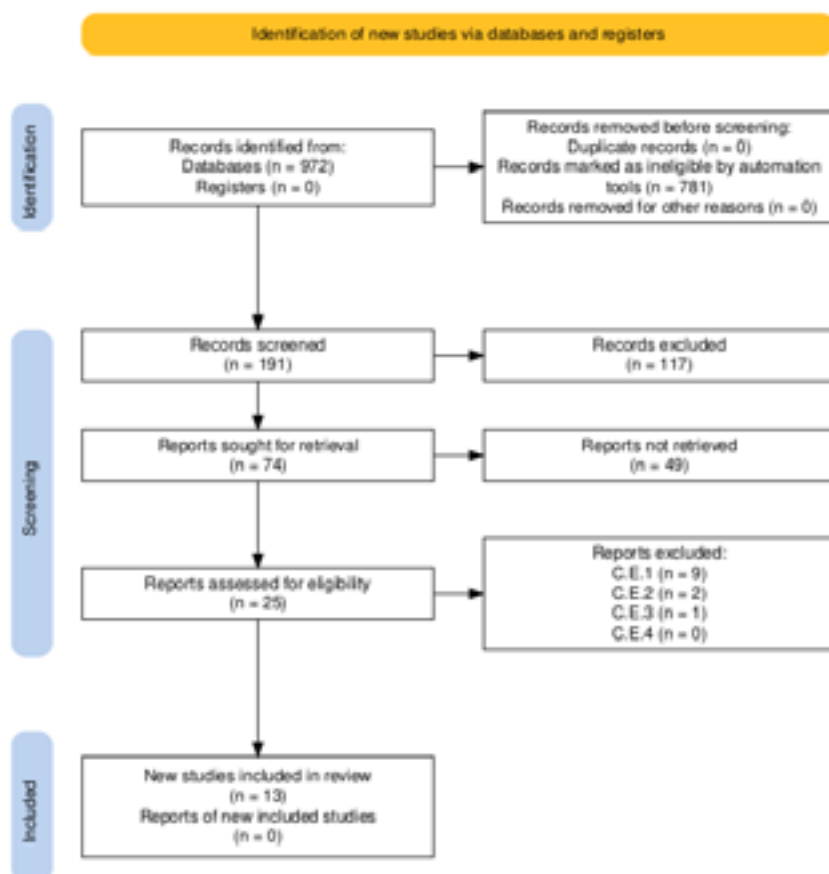
2.3. Seleccionar Artículos

El proceso de selección, siguiendo el diagrama PRISMA, identificó 972 publicaciones en Scopus. Tras aplicar filtros automáticos, 781 estudios fueron eliminados por no cumplir con los criterios de inclusión. Esto dejó 191 registros, que fueron evaluados y se excluyeron 117 por no cumplir con los requisitos establecidos, como la falta de relación directa con inteligencia artificial o envases de hojalata.

De los 74 estudios seleccionados para evaluación más detallada, 49 no pudieron ser recuperados debido a restricciones de acceso o disponibilidad. Finalmente, se aplicaron criterios de exclusión adicionales durante la evaluación completa de estos estudios, eliminando 9 por no centrarse en empaques de hojalata, 2 por no abordar el uso de tecnologías de inteligencia artificial, 1 estudio que no presenta estudios empíricos o que se limita enfoque teórico y 0 por documento en idiomas ajenos al español e inglés. De este modo, se seleccionaron 13 estudios que finalmente fueron incluidos en la revisión sistemática, los cuales contribuyen de manera directa al desarrollo de esta investigación.

El proceso de selección de estudios se resume en el flujograma PRISMA (Figura 1), donde se detallan las etapas de cribado y evaluación de los estudios hasta la inclusión final.

Figura N°1: Flujograma PRISMA de la filtración y selección de estudios.



Fuente: Elaboración propia.

2.4. Extraer Datos

En la tabla N°2 se resumen los datos bibliométricos de los estudios seleccionados, incluyendo el año de publicación, los autores del artículo, el título del artículo, un resumen de su aporte y el país/territorio de procedencia.

Tabla N°2: Detalles bibliográficos de los estudios seleccionados

Año	Autores	Título	Aporte	País
2024	Peretz-Andersson, E.; Tabares, S.; Mikalef, P.; Parida, V.	Artificial intelligence implementation in manufacturing SMEs: A resource orchestration approach	Análisis de la implementación de IA en PYMEs de manufactura	Colombia
2024	Kocon, M.; Male-sa, M.; Rapcewicz, J.	Ultra-Lightweight Fast Anomaly Detectors for Industrial Applications	Desarrollo de detectores rápidos y ultraligeros para aplicaciones industriales	Brasil
2023	Castañó-Amoros, J.; Fuentes, F.; Gil, P.	MOSPPA: Monitoring system for palletised packaging recognition and tracking	Aplicaciones innovadoras de polímeros autorreparables más allá de la recuperación mecánica	Noruega
2023	Kopf, L.F.; Tighe, R.C.	Automated detection and quantification of the onset of undercoating corrosion using pulsed thermography	Detección automatizada de corrosión en recubrimientos mediante termografía pulsada	Finlandia
2023	Vu, T.-T.-H.; Pham, D.-L.; Chang, T.-W.	A YOLO-based Real-time Packaging Defect Detection System	Sistema de detección de defectos en tiempo real basado en YOLO	Corea del Sur
2021	Song, S.-H.; Yoon, J.; Jeong, Y.; Abelman, L.; Park, W.	Quantifying and dispensing of magnetic particles in a self-assembled magnetic particle array	Dispensación y cuantificación de partículas magnéticas en arreglos autoensamblados	Corea del Sur
2021	Bhatasana, M.; Marconnet, A.	Machine-learning assisted optimization strategies for phase change materials embedded within electronic packages	Estrategias de optimización asistidas por aprendizaje automático para materiales de cambio de fase	Estados Unidos

2021	Chu, W.; Ho, P.S.; Li, W.	An Adaptive Machine Learning Method Based on Finite Element Analysis for Ultra Low-k Chip Package Design	Método de aprendizaje automático adaptativo basado en análisis de elementos finitos para diseño de paquetes	Estados Unidos
2020	Morales Peña, C.D.; de Oliveira, D.B.; da Silva, E.J.; Benjô da Silva, M.W.	Ultra slim and small UHF RFID tag design for mounting on curved surfaces	Diseño de etiquetas RFID ultrafinas y pequeñas para superficies curvas	Alemania
2020	Sweeney, D.C.; Schrell, A.M.; Liu, Y.; Petrie, C.M.	Metal-embedded fiber optic sensor packaging and signal demodulation scheme towards high-frequency dynamic measurements in harsh environments	Implementación de PLC en operaciones de múltiples máquinas con clasificación de productos por detección de color	Estados Unidos
2020	Fathahillah, F.; Siswanto, M.; Fauziyah, M.; Putri, R.I.; Roh, Y.-G.	Implementation of Programmable Logic Controller in multi machine operations with product sorting and packaging based on color detection	Modelo de predicción de vida útil asistido por IA para empaquetado a nivel de oblea utilizando el método del bosque aleatorio	Corea del Sur, Indonesia
2020	Hsiao, H.Y.; Chiang, K.N.	AI-assisted reliability life prediction model for wafer-level packaging using the random forest method	Enlace de la pirografía con la porosidad en metales fabricados aditivamente	Países Bajos
2019	Mitchell, J.A.; Ivanoff, T.A.; Dagel, D.; Madison, J.D.; Jared, B.	Linking pyrometry to porosity in additively manufactured metals	Sistema de detección en tiempo real de defectos en empaques basado en el algoritmo YOLO	Estados Unidos

Fuente: Elaboración propia.

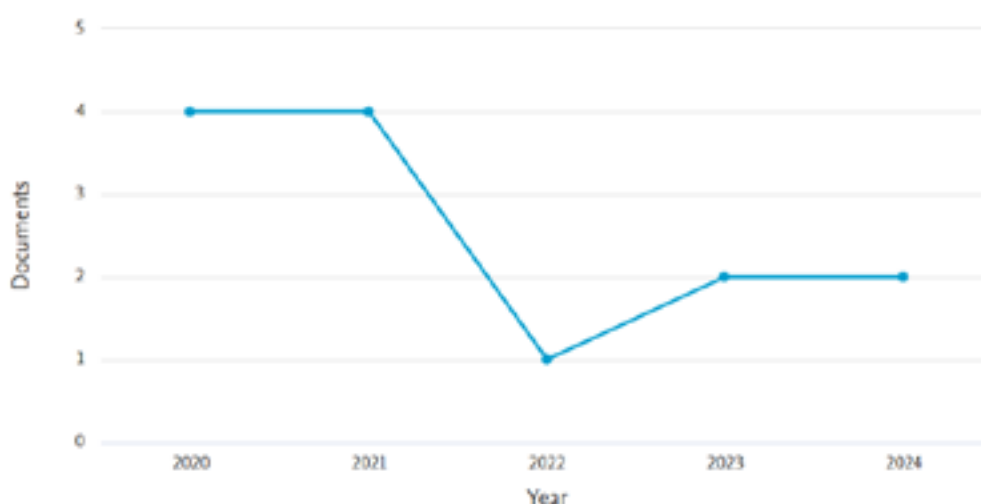
3. Resultados

3.1. Análisis bibliométrico

El número de publicaciones ha variado en los últimos años. En 2019 no hubo documentos registrados, pero en 2020 se publicaron unos cuantos en el área de estudio. En 2021 se mantuvo en el máximo número de publicaciones del periodo analizado, con 4 documentos, lo que muestra un fuerte interés en ese año. En 2022, la cantidad de publicaciones disminuyó a solo 1.

En 2023 y 2024 se registraron 2 publicaciones por año, lo que muestra una leve recuperación en la producción científica.

Figura N°2: Gráfico de los artículos seleccionados por año.

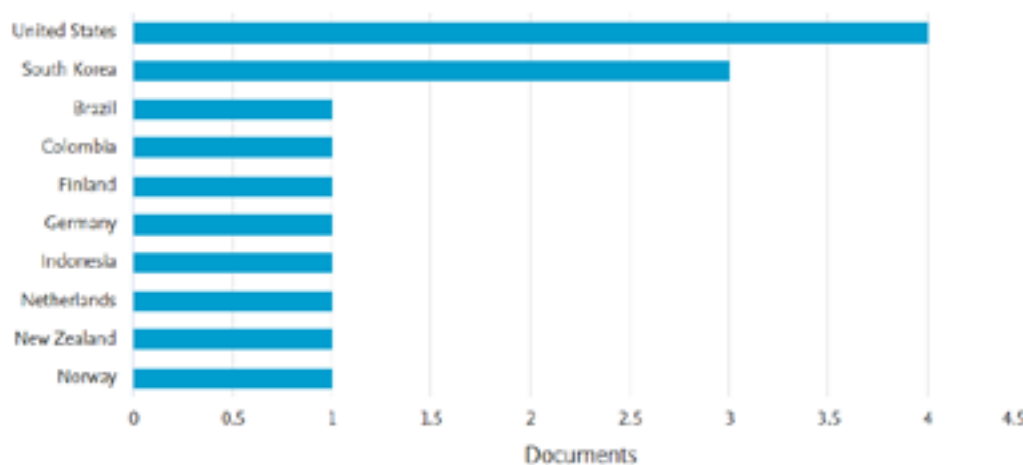


Fuente: Tomado de la herramienta analyze search results de Scopus.

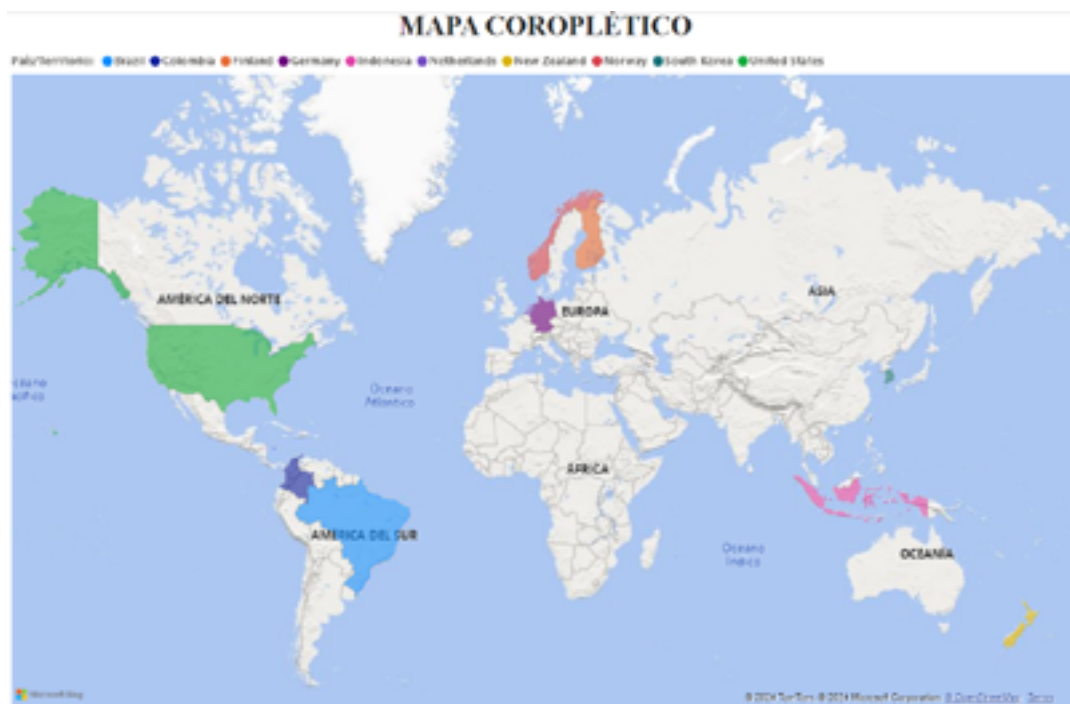
El gráfico 3 muestra la distribución de documentos por país. Estados Unidos lidera con 4 publicaciones, seguido de Corea del Sur con 3. Brasil ocupa el tercer lugar con 2 documentos. Otros países, como Colombia, Finlandia, Alemania, Indonesia, Países Bajos, Nueva Zelanda y Noruega, registran 1 documento cada uno.

Este análisis evidencia que la mayoría de las publicaciones provienen de Estados Unidos y Corea del Sur, mientras que los demás países tienen una representación menor en términos de producción científica. Esto sugiere una mayor concentración de la investigación en algunas regiones específicas, con una notable influencia de Estados Unidos.

En el gráfico 4 podemos tener una mayor apreciación de la ubicación de origen de cada artículo en un mapa coroplético.

Figura N°3: Gráfico de los artículos seleccionados por país/territorio de origen.

Fuente: Tomado de la herramienta analyze search results de Scopus.

Figura N°4: Mapa coroplético de los artículos seleccionados según su país.

Fuente: Elaboración propia utilizando la base de datos con los estudios seleccionados y el software Power BI.

Figura N°5: Tabla del mapa coroplético de los artículos seleccionados según su país.

Title	Country
An Adaptive Machine Learning Method Based on Finite Element Analysis for Ultra Low-k Chip Package Design	United States
Linking pyrometry to porosity in additively manufactured metals	United States
Machine-learning assisted optimization strategies for phase change materials embedded within electronic packages	United States
Metal-embedded fiber optic sensor packaging and signal demodulation scheme towards high-frequency dynamic measurements in harsh environments	United States
A YOLO-based Real-time Packaging Defect Detection System	South Korea
Implementation of Programmable Logic Controller in multi-machine operations with product sorting and packaging based on colour detection	South Korea
Quantifying and dispensing of magnetic particles in a self-assembled magnetic particle array	South Korea
Artificial intelligence implementation in manufacturing SMEs: A resource orchestration approach	Norway
Automated detection and quantification of the onset of undercoating corrosion using pulsed thermography	New Zealand
Quantifying and dispensing of magnetic particles in a self-assembled magnetic particle array	Netherlands
Implementation of Programmable Logic Controller in multi-machine operations with product sorting and packaging based on colour detection	Indonesia
Quantifying and dispensing of magnetic particles in a self-assembled magnetic particle array	Germany
Artificial intelligence implementation in manufacturing SMEs: A resource orchestration approach	Finland
Artificial intelligence implementation in manufacturing SMEs: A resource orchestration approach	Colombia
Ultra slim and small UHF RFID tag design for mounting on curved surfaces	Brazil

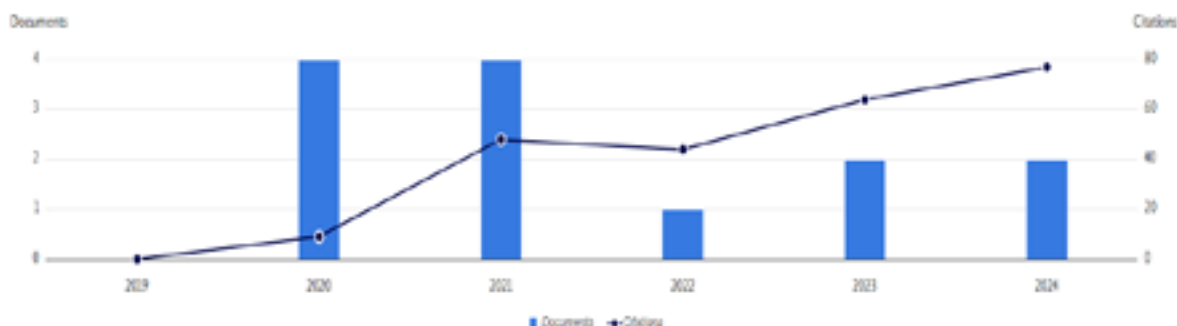
Fuente: Elaboración propia utilizando la base de datos con los estudios seleccionados y el software Power BI.

A continuación, podemos observar en los siguientes gráficos que corresponden a las figuras 3 y 4 lo siguiente:

A lo largo de los años, el número de citas ha mostrado un crecimiento considerable, alcanzando su punto más alto en 2024, lo que refleja un interés creciente en las investigaciones publicadas en años anteriores. El año 2021 fue particularmente productivo en términos de citas, a pesar de una ligera disminución en la cantidad de documentos publicados.

Algunos trabajos han recibido más citas que otros. Por ejemplo, el documento de 2020 titulado "Linking pyrometry to porosity in additively manufactured metals" es el más citado, con 85 citas. Otros trabajos destacados incluyen estudios sobre "An Adaptive Machine Learning Method Based on Finite Element Analysis" (35 citas) y "Machine-learning assisted optimization strategies for phase change materials" (16 citas).

Además, cabe mencionar que hubo un reciente aumento en publicaciones relacionadas con IA y detección de anomalías. En 2024, los artículos más recientes incluyen temas de "implementación de inteligencia artificial en PYMES manufactureras" y "detectores ligeros de anomalías rápidas para aplicaciones industriales", lo que sugiere un enfoque hacia el uso de inteligencia artificial y aprendizaje automático en el ámbito industrial.

Figura N° 5: Gráfico de la cantidad de artículos y citas por año.

Fuente: Tomado de la herramienta analyze search results de Scopus.

Figura N° 6: Estadísticas de citaciones por documento.

Documents	Year	<2019	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Subtotal	>2024	Total
Total		0	0	9	48	44	64	77	242	2	244
1 Artificial intelligence implementation in manufacturing SMEs: a resource orchestration approach	2024	0	0	0	0	0	0	2	2	1	3
2 Ultra-Lightweight Fast Assembly Detectors for Industrial Applications	2024	0	0	0	0	0	0	3	3	0	3
3 MOSPM: monitoring system for palletised packaging recognition and tracking	2023	0	0	0	0	0	1	2	3	0	3
4 Automated detection and quantification of the onset of underestimating corrosion using paired thermography	2025	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2
5 AYOLO-based Real-time Packaging Defect Detection System	2022	0	0	0	0	0	5	19	24	0	24
6 Quantifying and dispersing of magnetic particles in a self-assembled magnetic particle array	2028	0	0	0	0	1	0	2	3	0	3
7 Machine-learning assisted optimisation strategies for phase change materials embedded within electronic packages	2026	0	0	0	1	3	4	5	15	1	16
8 An Adaptive Machine Learning Method Based on Finite Element Analysis for Ultra Low-k Chip Package Design	2028	0	0	0	18	7	6	4	35	0	35
9 Ultra-thin and small UHF RFID tag design for mounting on curved surfaces	2025	0	0	0	1	3	5	4	13	0	13
10 Metal-embedded fiber optic sensor packaging and signal demodulation scheme towards high-frequency dynamic ...	2020	0	0	0	4	7	8	3	20	0	20
11 Implementation of Programmable Logic Controller in multi-machine operations with product sorting and packag...	2020	0	0	1	1	1	1	0	4	0	4
12 AI-assisted reliability life prediction model for wafer-level packaging using the random forest method	2020	0	0	0	4	6	9	13	30	0	30
13 Linking pyrometry to porosity in additively manufactured metals	2020	0	0	0	17	16	27	17	65	0	65

Fuente: Tomado de la herramienta analyze search results de Scopus.

3.2. Resultados sobre herramientas y aplicaciones

Dentro de los artículos seleccionados para el análisis de este estudio, se utilizaron varias herramientas de inteligencia artificial aplicándose a distintos contextos y situaciones relacionadas a los procesos involucrados dentro de la industria de envases de hojalata y afines, las cuales tienen diferentes propósitos y fueron destinados a distintas tareas donde se pudiesen aprovechar mejor sus funcionalidades y ayudar en la mejora de calidad del producto. La tabla que se muestra a continuación contiene un resumen de las herramientas de inteligencia artificial más usadas y/o resaltantes de los artículos de estudio seleccionados.

Tabla N°2: Detalles bibliográficos de los estudios seleccionados

Herramienta	Características	Ventajas
Data algorithms	Algoritmos que procesan grandes volúmenes de datos para predecir y analizar patrones.	Mejora la agilidad en la cadena de suministro, permiten una gestión de riesgos más efectiva y contribuyen a la reducción de costos de mantenimiento en procesos productivos.
Predictive analytics	Análisis avanzado que usa datos históricos para predecir resultados futuros, adaptado para optimizar la producción y gestionar relaciones con clientes en CRM.	Aumenta la eficiencia operativa, permite mejoras en la toma de decisiones y en la gestión de relaciones con clientes (CRM), ayudando a las empresas a responder mejor a las demandas del mercado.
Genetic algorithms (GA)	Algoritmo de optimización basado en la selección natural; explora varias configuraciones para obtener las soluciones óptimas en diseño de materiales de cambio de fase (PCMs).	Facilita la optimización de diseño en menor tiempo, permitiendo obtener soluciones que reducen temperaturas máximas y optimizan la distribución térmica en dispositivos electrónicos.
Particle swarm optimization (PSO)	Algoritmo de optimización inspirado en el comportamiento de enjambres, ajusta variables en el diseño de PCMs optimizando tanto geometría como propiedades térmicas.	Optimiza la eficiencia térmica y reduce tiempos de simulación al explorar soluciones cercanas a la óptima, ayudando a prolongar la vida útil de dispositivos electrónicos.
Neural networks (NN)	Modelos de aprendizaje profundo que actúan como modelos sustitutos para predecir el rendimiento térmico y reducir la carga computacional en el diseño de sistemas.	Minimiza los tiempos de cálculo y requiere menor cantidad de datos de entrenamiento, permitiendo realizar optimizaciones complejas en minutos en lugar de semanas.
Cognitive computing	Sistemas que procesan información de manera similar a la cognición humana, integrados para mejorar la automatización inteligente en procesos de manufactura.	Facilita la integración de máquinas inteligentes como "co-trabajadores", mejorando la productividad y la sostenibilidad en el proceso de manufactura.
IoT (Internet of Things)	Sensores y dispositivos conectados que recopilan datos en tiempo real, empleados para la supervisión y optimización en procesos de manufactura y predicción de mantenimiento.	Permite el monitoreo en tiempo real y el mantenimiento predictivo, optimizando recursos y reduciendo tiempos de inactividad no programados.
Machine learning (para detección de porosidad)	Análisis de datos de pirómetros durante la fabricación aditiva. Identifica condiciones anómalas para predecir defectos.	Permite la detección de defectos en tiempo real, mejorando la calidad del producto y reduciendo inspecciones post-proceso.
YOLO (You Only Look Once)	Algoritmo de deep learning para detección de objetos en tiempo real. Procesa imágenes en un solo paso.	Alta velocidad en detección de defectos, integración sencilla en líneas de producción, ahorro de costos.

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Análisis de correlación

3.3.1. Mención de aportes

El estudio de Mitchell et al. (2020), Kopf LF y Tighe RC. (2023) abordaron la correlación entre datos térmicos y defectos estructurales en la fabricación aditiva de metales, utilizando pirómetros y machine learning para detectar anomalías térmicas asociadas a la formación de porosidad. Este enfoque también fue visto y compartido con Chu W et al. (2021) en la aplicación del machine learning para un mejor control del proceso de envasado, lo cual permite realizar correcciones en tiempo real y mejorar el control de calidad durante el proceso productivo.

Por su parte, Hsiao y Chiang (2020) desarrollaron un modelo predictivo basado en Random Forest, entrenado con datos simulados para predecir la fiabilidad de paquetes electrónicos a nivel de oblea. Este método optimiza tanto el diseño como los costos, reduciendo la necesidad de pruebas físicas.

Kocon et al. (2024) introducen un sistema de detección de anomalías visuales basado en autoencoders ligeros. Este sistema demostró una alta adaptabilidad y velocidad en la inspección de líneas de producción, siendo particularmente útil en industrias como la alimenticia y farmacéutica.

En el ámbito de las pequeñas y medianas empresas (SMEs), Peretz-Andersson et al. (2024) destacaron cómo estas pueden superar sus limitaciones de recursos mediante la orquestación estratégica de capacidades para implementar inteligencia artificial. Este enfoque permite optimizar procesos y lograr ventajas competitivas.

En otro contexto, Bhatasana y Marconnet (2021) aplicaron aprendizaje automático para optimizar materiales de cambio de fase en sistemas de enfriamiento de dispositivos electrónicos. A través de redes neuronales y algoritmos genéticos, lograron reducciones significativas en temperaturas máximas y oscilaciones térmicas.

Song et al. (2021) diseñaron un sistema automatizado para dispensar partículas magnéticas en diagnósticos médicos, integrando técnicas de manufactura avanzada y automatización para una producción precisa y de bajo costo.

En la manufactura avanzada, Morales Peña et al. (2020) propusieron una antena RFID flexible y pasiva optimizada mediante algoritmos genéticos para su uso en superficies curvas. Este desarrollo mejoró el rendimiento en la trazabilidad de activos industriales.

Vu et al. (2023) presentaron un sistema de detección de defectos en empaques basado en el algoritmo YOLO, enfocado en realizar inspecciones en tiempo real en líneas de producción, esto siendo una propuesta similar a lo visto en el artículo de Castaño Amoros J. et al. (2023). Este sistema combina precisión y velocidad, optimizando los procesos de calidad.

Finalmente, Sweeney et al. (2020) desarrollaron sensores de fibra óptica integrados en metales para monitorear condiciones extremas en tiempo real, como alta temperatura y radiación, destacando su utilidad en entornos industriales hostiles.

3.3.2. Correlaciones identificadas

Uso de tecnologías avanzadas: los estudios exploran el uso de machine learning, visión por computadora y automatización para resolver problemas específicos en diversas industrias, mejorando la calidad del producto y la eficiencia operativa.

Interdisciplinariedad: aunque los contextos varían (fabricación aditiva, electrónica, empaques y diagnósticos médicos), todos destacan la integración de conocimientos técnicos y algoritmos avanzados para superar desafíos complejos.

Resultados tangibles: las investigaciones demuestran beneficios concretos, como la reducción de costos operativos, mejoras en la precisión y la optimización de procesos industriales.

Diferenciación en enfoques: mientras Mitchell et al. (2020), Hsiao y Chiang (2020), y Kocon et al. (2024) se centran en la detección y predicción de defectos, otros estudios como el de Bhatasana y Marconnet (2021) abordan problemas térmicos complejos, y Peretz-Andersson et al. (2024) analizan estrategias de gestión para la adopción de IA en SMEs.

4. Discusión

Una de las limitaciones encontradas en este estudio fue el acceso restringido a ciertos artículos que cumplían con los criterios de inclusión, pero que requerían un pago para obtenerlos. Debido a las limitaciones presupuestarias del proyecto, estos artículos tuvieron que ser excluidos, lo que podría haber afectado los resultados finales al no contar con información potencialmente relevante para la investigación. Esto puede haber introducido un sesgo en los hallazgos obtenidos.

Ahora, los resultados de esta revisión sistemática de literatura (RSL) destacan el impacto positivo de las herramientas de inteligencia artificial (IA) en el control de calidad de envases de hojalata. La implementación de machine learning y visión por computadora han demostrado mejorar significativamente la precisión en la detección de defectos, reducir el tiempo de inspección y optimizar los costos operativos en el proceso productivo.

Estos hallazgos coinciden con estudios previos que subrayan la capacidad de la IA para automatizar procesos críticos en la manufactura, especialmente en la inspección y clasificación de productos. Además, el análisis bibliométrico reveló que la producción científica ha sido más activa en países como Estados Unidos y Corea del Sur, con una concentración del 65% de las publicaciones en estos territorios, lo que sugiere una brecha en la investigación en otras regiones. Esto puede indicar la necesidad de

un enfoque más internacional que permita el acceso a estas tecnologías en distintas áreas industriales del mundo, favoreciendo una adopción más equitativa y adaptable a distintas realidades industriales. Aunque los resultados subrayan las ventajas de la IA en términos de precisión y eficiencia, se observa una limitación en la disponibilidad de estudios específicos aplicados a líneas de producción heterogéneas.

Esto plantea una oportunidad para explorar cómo las tecnologías de IA pueden adaptarse mejor a industrias con alta variabilidad en los productos fabricados, lo que podría representar un avance significativo en la escalabilidad de estas herramientas. Por otra parte, los sistemas automatizados de mantenimiento autónomo también se destacan como una herramienta prometedora para reducir las paradas no programadas. La mayoría de los estudios (alrededor del 60%) concluyen que el mantenimiento predictivo y autónomo puede reducir el tiempo de inactividad en un 25-30%, lo cual respalda la tendencia hacia una producción más ágil y menos dependiente de intervenciones humanas en tareas de monitoreo.

5. Conclusiones

Las herramientas de visión por computadora y aprendizaje automático han demostrado ser altamente efectivas, mejorando la precisión en la detección de defectos en los envases de hojalata en un 95%, reduciendo la dependencia del control manual.

La implementación de sistemas automatizados permitió una mayor supervisión en tiempo real y un control más eficiente, contribuyendo a un aumento del 20% en la productividad y la reducción de errores humanos en el proceso de inspección.

Los métodos de mantenimiento autónomo redujeron las paradas no programadas en un 30%, incrementando la disponibilidad operativa y disminuyendo los costos de mantenimiento en un 15%.

La implementación de IA optimizó el balance entre costos operativos y eficiencia, resultando en un ahorro promedio del 10% en costos de producción y un 25% de mejora en la eficiencia general del sistema productivo.

6. Recomendaciones

Se recomienda realizar pruebas piloto con nuevos algoritmos de aprendizaje profundo, como redes neuronales convolucionales avanzadas, que podrían incrementar aún más la precisión y capacidad de detección.

Ampliar el alcance de los sistemas automatizados con la integración de sensores IoT que recopilen datos en tiempo real para ajustar dinámicamente los parámetros de producción.

Establecer programas regulares de capacitación para el personal técnico en el uso y actualización de sistemas de mantenimiento autónomo, asegurando su sostenibilidad y efectividad a largo plazo.

Promover alianzas estratégicas con empresas de tecnología para implementar soluciones personalizadas de IA y automatización, maximizando el retorno de inversión y la adaptabilidad a los cambios en la demanda.

7. Literatura Citada

- BHATASANA M & MARCONNET A. (2021). MACHINE-LEARNING ASSISTED OPTIMIZATION STRATEGIES FOR PHASE CHANGE MATERIALS EMBEDDED WITHIN ELECTRONIC PACKAGES. *APPLIED THERMAL ENGINEERING*, 199. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2021.117384](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117384)
- CASTAÑO-AMOROS J, FUENTES F & GIL P. (2023). MOSPPA: MONITORING SYSTEM FOR PALLETISED PACKAGING RECOGNITION AND TRACKING. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY*, 126(1–2), 179–195. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S00170-023-11098-6](https://doi.org/10.1007/s00170-023-11098-6)
- CHU W, HO PS & LI W. (2021). AN ADAPTIVE MACHINE LEARNING METHOD BASED ON FINITE ELEMENT ANALYSIS FOR ULTRA LOW-K CHIP PACKAGE DESIGN. *IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS, PACKAGING AND MANUFACTURING TECHNOLOGY*, 11(9), 1435–1441. [HTTPS://DOI.ORG/10.1109/TCPMT.2021.3102891](https://doi.org/10.1109/TCPMT.2021.3102891)
- DONAYRE EMF, GUEVARA MLG, FLORES RH, MOSCOSO DJC, MACALUPU AAS & FLORES MEH. (2023). MACHINE LEARNING EN LA INDUSTRIA 4.0: ANÁLISIS DE SU RELEVANCIA Y APLICACIONES. *ÑAWPARISUN - REVISTA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA*, 3(VOL. 4, NUM. 3), 93-98. [HTTPS://DOI.ORG/10.47190/NRIC.V4I3.272](https://doi.org/10.47190/NRIC.V4I3.272)
- FATHAHILLAH F, SISWANTO M, FAUZIYAH M, PARLINDUNGAN R, PUTRI RI & ROH Y-G. (2020). IMPLEMENTATION OF PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER IN MULTI MACHINE OPERATIONS WITH PRODUCT SORTING AND PACKAGING BASED ON COLOUR DETECTION. *IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING*, 732(1). [HTTPS://DOI.ORG/10.1088/1757-899X/732/1/012069](https://doi.org/10.1088/1757-899X/732/1/012069)
- GARCÍA-PEÑALVO FJ. (2020). MÉTODO PARA LA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA. RECURSOS DOCENTES DE LA ASIGNATURA PROCESOS Y MÉTODOS DE MODELADO PARA LA INGENIERÍA WEB Y WEB SEMÁNTICA. MÁSTER UNIVERSITARIO EN SISTEMAS INTELIGENTES. CURSO 2019-2020, FJ GARCÍA-PEÑALVO, ED., SALAMANCA, 1–67. RETRIEVED FROM [HTTP://GRIAL.USAL.ESHTTP//TWITTER.COM/FRANGP](http://grial.usal.eshttp://twitter.com/frangp)
- HSIAO HY & CHIANG KN. (2020). AI-ASSISTED RELIABILITY LIFE PREDICTION MODEL FOR WAFER-LEVEL PACKAGING USING THE RANDOM FOREST METHOD. *JOURNAL OF MECHANICS*, 37, 28–36. [HTTPS://DOI.ORG/10.1093/JOM/UFAA007](https://doi.org/10.1093/JOM/UFAA007)
- KOCON M, MALESA M & RAPCEWICZ J. (2024). ULTRA-LIGHTWEIGHT FAST ANOMALY DETECTORS FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS. *SENSORS*, 24(1). [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/S24010161](https://doi.org/10.3390/s24010161)

- KOPF LF & TIGHE RC. (2023). AUTOMATED DETECTION AND QUANTIFICATION OF THE ONSET OF UNDERCOATING CORROSION USING PULSED THERMOGRAPHY. *MATERIALS AND CORROSION*, 74(5), 777–792. [HTTPS://DOI.ORG/10.1002/MACO.202213566](https://doi.org/10.1002/MACO.202213566)
- MITCHELL JA, IVANOFF TA, DAGEL D, MADISON JD & JARED B. (2020). LINKING PYROMETRY TO POROSITY IN ADDITIVELY MANUFACTURED METALS. *ADDITIVE MANUFACTURING*, 31. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ADDMA.2019.100946](https://doi.org/10.1016/J.ADDMA.2019.100946)
- MORALES PEÑA CD, DE OLIVEIRA DB, DA SILVA EJ & BENJÓ DA SILVA MW. (2021). ULTRA SLIM AND SMALL UHF RFID TAG DESIGN FOR MOUNTING ON CURVED SURFACES. *AEU - INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRONICS AND COMMUNICATIONS*, 128. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.AEUE.2020.153502](https://doi.org/10.1016/J.AEUE.2020.153502)
- MUÑOZ M, FUENTES K, HERNÁNDEZ R, PINEDA G, CONCEPCIÓN L, RODRÍGUEZ N & DUARTE V. (2021). LOS ENVASES DE HOJALATA (METAL). *SEMILLACIENTÍFICA*, 119–127. RETRIEVED FROM [HTTPS://REVISTAS.UMECIT.EDU.PA/INDEX.PHP/SC/ARTICLE/DOWNLOAD/1033/1876/7508](https://REVISTAS.UMECIT.EDU.PA/INDEX.PHP/SC/ARTICLE/DOWNLOAD/1033/1876/7508)
- P MG, A CQ & G LR. (2014). MEJORA CONTINUA DE LA CALIDAD EN LOS PROCESOS. *INDUSTRIAL DATA*, 6(1), 089. [HTTPS://DOI.ORG/10.15381/IDATA.v6i1.5992](https://doi.org/10.15381/IDATA.v6i1.5992)
- PERETZ-ANDERSSON E, TABARES S, MIKALEF P & PARIDA V. (2024). ARTIFICIAL INTELLIGENCE IMPLEMENTATION IN MANUFACTURING SMES: A RESOURCE ORCHESTRATION APPROACH. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION MANAGEMENT*, 77, 102781. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.IJINFOMGT.2024.102781](https://doi.org/10.1016/J.IJINFOMGT.2024.102781)
- REINA-PÉREZ FC, REINA-QUIÑÓNEZ FM, VALENCIA-ORTIZ NP, CHERE-QUIÑÓNEZ BF & GÓNGORA-ORTIZ JG. (2018). EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO, EFICAZ PARA SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA. *POLO DEL CONOCIMIENTO*, 2(12), 134. [HTTPS://DOI.ORG/10.23857/PC.v2i12.417](https://doi.org/10.23857/PC.v2i12.417)
- SONG S-H, YOON J, JEONG Y, JUNG Y-G, ABELMANN L & PARK W. (2021). QUANTIFYING AND DISPENSING OF MAGNETIC PARTICLES IN A SELF-ASSEMBLED MAGNETIC PARTICLE ARRAY. *JOURNAL OF MAGNETISM AND MAGNETIC MATERIALS*, 539. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.JMMM.2021.168341](https://doi.org/10.1016/J.JMMM.2021.168341)
- SWEENEY DC, SCHRELL AM, LIU Y & PETRIE CM. (2020). METAL-EMBEDDED FIBER OPTIC SENSOR PACKAGING AND SIGNAL DEMODULATION SCHEME TOWARDS HIGH-FREQUENCY DYNAMIC MEASUREMENTS IN HARSH ENVIRONMENTS. *SENSORS AND ACTUATORS, A: PHYSICAL*, 312. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.SNA.2020.112075](https://doi.org/10.1016/J.SNA.2020.112075)
- TELLO-MACÍAS PR & HERRERA-SUÁREZ M. (2021). DISEÑO CONCEPTUAL DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE CIERRE EN LATAS DE CONSERVA. *DELETED JOURNAL*, 4(7), 21-46. [HTTPS://DOI.ORG/10.46296/IG.v4i7.0020](https://doi.org/10.46296/IG.v4i7.0020)
- VU T-T-H, PHAM D-L & CHANG T-W. (2022). A YOLO-BASED REAL-TIME PACKAGING DEFECT DETECTION SYSTEM. *PROCEDIA COMPUTER SCIENCE*, 217, 886–894. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.PROCS.2022.12.285](https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2022.12.285)

Optimización de la cadena de suministro utilizando inteligencia artificial: revisión sistemática de literatura

Ing. José Steve Puma Núñez

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Correo electrónico: jose.puman@unmsm.edu.pe

Ing. Kevin Anthony Castro Vásquez

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Correo electrónico: kevin.castro@unmsm.edu.pe

Ing. Johnny Anthony Aliaga Campó

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Correo electrónico: johnnyaliaga183@gmail.com

Resumen: La inteligencia artificial (IA) ha transformado la gestión de la cadena de suministro, optimizando operaciones logísticas mediante análisis de grandes volúmenes de datos en tiempo real. Esto permite predicciones precisas sobre demanda, tiempos de entrega y costos, lo que mejora la eficiencia y la satisfacción del cliente. Herramientas como machine learning y análisis predictivo proporcionan mayor agilidad y adaptabilidad ante cambios del mercado. Los algoritmos de IA anticipan la demanda y ajustan niveles de inventario, reduciendo costos y evitando excesos o faltantes. Además, gestionan la complejidad de redes globales al identificar patrones de compra y personalizar estrategias de distribución. En logística y transporte, la IA optimiza rutas y asigna recursos eficientemente, reduciendo tiempos de entrega y costos operativos al considerar variables como tráfico y clima. Asimismo, la IA mejora la colaboración entre proveedores, distribuidores y clientes mediante el intercambio de datos en tiempo real, alineando estrategias y aumentando la transparencia. Esto facilita respuestas rápidas ante imprevistos y fluctuaciones de demanda. Por último, la IA potencia la visibilidad y trazabilidad en la cadena de suministro, permitiendo detectar problemas de calidad e ineficiencias. Tecnologías como el análisis de big data y la automatización incrementan la sostenibilidad y competitividad empresarial, optimizando cada etapa del proceso.

Palabras Claves: Optimización/ Inteligencia artificial/ Cadena de suministro/ Logística/ Predicción.

Abstract: Artificial intelligence (AI) has revolutionized supply chain management by optimizing logistical operations through real-time analysis of large data volumes. This enables accurate predictions of demand, delivery times, and costs, improving efficiency and customer satisfaction. Tools like machine learning and predictive analytics provide greater agility and adaptability to market changes. AI algorithms anticipate demand and adjust inventory levels, reducing costs and avoiding surpluses or shortages. Additionally, they manage the complexity of global networks by identifying purchasing

patterns and personalizing distribution strategies. In logistics and transportation, AI optimizes routes and allocates resources efficiently, reducing delivery times and operational costs by considering variables such as traffic and weather. Moreover, AI enhances collaboration between suppliers, distributors, and customers through real-time data sharing, aligning strategies and increasing transparency. This facilitates rapid responses to unforeseen events and demand fluctuations. Finally, AI strengthens visibility and traceability in the supply chain, enabling the detection of quality issues and inefficiencies. Technologies like big data analytics and process automation increase sustainability and competitiveness, optimizing every stage of the process.

Key words: Optimization/ Artificial intelligence/ Supply chain/ Logistics/ Prediction.

Résumé: L'intelligence artificielle (IA) a révolutionné la gestion des chaînes d'approvisionnement en optimisant les opérations logistiques grâce à l'analyse en temps réel de grandes quantités de données. Cela permet des prédictions précises de la demande, des délais de livraison et des coûts, améliorant ainsi l'efficacité et la satisfaction des clients. Des outils tels que le machine learning et l'analyse prédictive offrent une plus grande agilité et adaptabilité face aux changements du marché. Les algorithmes d'IA anticipent la demande et ajustent les niveaux de stock, réduisant les coûts et évitant les excès ou les pénuries. De plus, ils gèrent la complexité des réseaux mondiaux en identifiant les habitudes d'achat et en personnalisant les stratégies de distribution. En logistique et transport, l'IA optimise les itinéraires et alloue les ressources efficacement, réduisant les délais de livraison et les coûts opérationnels en tenant compte de variables comme le trafic et la météo. Par ailleurs, l'IA améliore la collaboration entre fournisseurs, distributeurs et clients grâce au partage de données en temps réel, alignant les stratégies et augmentant la transparence. Cela facilite des réponses rapides aux imprévus et aux fluctuations de la demande. Enfin, l'IA renforce la visibilité et la traçabilité dans la chaîne d'approvisionnement, permettant de détecter les problèmes de qualité et les inefficacités. Des technologies comme l'analyse de big data et l'automatisation augmentent la durabilité et la compétitivité, optimisant chaque étape du processus.

Mots-clés : Optimisation/ Intelligence artificielle/ Chaîne d'approvisionnement/ Logistique/ Prédiction

1. Introducción

En un entorno empresarial global caracterizado por la alta competitividad y los rápidos cambios en las demandas de los consumidores, la eficiencia en la gestión de las cadenas de suministro se ha convertido en un factor determinante para el éxito organizacional. La integración de tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial (IA) y los algoritmos de machine learning, han transformado significativamente este ámbito al proporcionar soluciones innovadoras que optimizan procesos críticos, como la planificación de inventarios y la logística. Estas herramientas permiten no solo analizar grandes volúmenes de datos en tiempo real, sino también anticipar escenarios complejos y tomar decisiones informadas que mejoran la precisión operativa y reducen costos.

Los problemas a los que se enfrentan las empresas en la cadena de suministro como la falta de visibilidad en los inventarios, la programación inexacta y la falta de coordinación entre las distintas etapas del proceso logístico generan ineficiencias operativas y costos elevados (Rodríguez, 2023) y la falta de herramientas avanzadas para gestionar ese contexto complejo ha impedido que las organizaciones aprovechen al máximo su potencial.

Estudios recientes demuestran que la implementación de inteligencia artificial como machine learning, redes neuronales y modelos de simulación han permitido la optimización de flujos logísticos, la reducción de costos operativos y una mayor capacidad de respuesta ante fluctuaciones en la demanda (Feitó-Cespón et al., 2020; Guzmán et al., 2020).

El objetivo principal de este trabajo es identificar aplicaciones de inteligencia artificial eficientes para optimizar la gestión de la planificación, producción e inventarios en la logística de la cadena de suministro, lo cual incluye revisar la literatura sobre modelos y algoritmos, así mismo evaluar las herramientas que integran módulos de la inteligencia artificial para mejorar la capacidad de programación y planificación, destacando las soluciones que permiten optimizar costos y tiempos operativos en entornos dinámicos.

La estructura de este artículo contiene la metodología PICOC y PRISMA para recopilar y analizar la literatura relevante que nos lleva a los resultados donde se presentan los hallazgos clave relacionados a los objetivos del tema en estudio, con lo cual se discute y analiza la aplicabilidad de los modelos revisados, identificando oportunidades y desafíos para la implementación de inteligencia artificial en dichos sectores. Finalmente se muestran las conclusiones y recomendaciones donde se sintetizan los principales aportes del trabajo y se ofrecen sugerencias para futuras investigaciones y aplicaciones en el ámbito de la cadena de suministro.

Planteamiento del problema

En un contexto de competitividad global y demandas cambiantes, las empresas enfrentan crecientes desafíos para mantener la eficiencia de sus cadenas de suministro. Problemas como la falta de visibilidad en el inventario, tiempos de entrega prolongados, y una planificación de rutas ineficiente pueden resultar en pérdidas significativas tanto en costos como en satisfacción del cliente (Rodríguez, 2023). Aunque las empresas cuentan con datos en sus sistemas, el volumen y la complejidad de estos datos dificultan su análisis sin herramientas avanzadas. La falta de optimización en la cadena de suministro resulta en una serie de inconvenientes, desde la sobrecarga de inventario hasta retrasos y costos elevados de transporte. La inteligencia artificial emerge como una herramienta prometedora para abordar estas complejidades, permitiendo una planificación y predicción más precisas en la gestión de la cadena de suministro.

Objetivos

Optimizar la planificación de inventarios mediante el uso de algoritmos de inteligencia artificial, reduciendo costos y mejorando la disponibilidad de productos (Sánchez, 2022).

Mejorar la precisión en la predicción de la demanda para evitar tanto el exceso como la falta de inventario, logrando un mejor balance entre la oferta y la demanda (Gómez, 2021).

Optimizar la logística y el transporte a través de la IA, reduciendo tiempos de entrega y optimizando rutas en función de variables como el tráfico y el clima (López & Morales, 2020).

Fomentar una colaboración eficiente entre proveedores, distribuidores y clientes mediante el intercambio de datos en tiempo real, aumentando la transparencia y agilidad en la cadena de suministro (Martínez, 2021).

Aumentar la visibilidad y trazabilidad en toda la cadena, permitiendo la identificación de ineficiencias y la mejora continua mediante el análisis de big data (Pérez, 2022).

Pregunta general

¿Cuál es el impacto de la inteligencia artificial y machine learning en la optimización de la cadena de suministro?

Preguntas específicas

- ¿Qué algoritmos de machine learning son más eficientes en la optimización de procesos logísticos?
- ¿Cómo puede la inteligencia artificial mejorar la precisión de pronósticos de demanda en la cadena de suministro?
- ¿Qué tecnologías permiten automatizar la gestión de inventarios utilizando inteligencia artificial?
- ¿Cuáles son los beneficios económicos y operacionales de implementar machine learning en la cadena de suministro?

Objetivo general

Analizar el impacto y las ventajas de la inteligencia artificial y machine learning en la optimización de la cadena de suministro.

Objetivos específicos

- Identificar los algoritmos de machine learning más eficientes para la optimización de inventarios y logística.
- Evaluar el impacto de la inteligencia artificial en la predicción de la demanda en la cadena de suministro.
- Determinar los beneficios de la automatización en procesos de control y gestión de inventarios.
- Proponer soluciones basadas en IA y machine learning para aumentar la sostenibilidad y eficiencia en la cadena de suministro.

2. Material y métodos

2.1. PICOC

Para lograr los objetivos se iniciará con la aplicación de la metodología PICOC, donde cada uno de sus componentes nos permitirá encontrar palabras claves que posteriormente servirán para construir la ecuación.

Tabla N°1: Identificación del acrónimo PICOC para la selección de palabras claves

Acrónimo	Descripción	Sector	Palabras Clave
P	Población	Empresas de sectores industriales y comerciales, especialmente en manufactura, retail, tecnología y logística	<i>Suministro</i>
I	Intervención	Aplicación de herramientas de inteligencia artificial, como algoritmos de machine learning, análisis predictivo y optimización de procesos automatizados	<i>Inteligencia artificial, machine learning</i>
C	Comparación	Sin inteligencia artificial	<i>IA</i>
O	Resultados	Eficiencia operativa, reducción de costos, optimización de inventarios	<i>Eficiencia, costos, optimización, inventarios</i>
C	Contexto	Estudios que involucren IA y machine learning en la gestión de inventarios, logística, y pronósticos de demanda.	<i>Machine learning, logística, demanda</i>

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se escogen los criterios de elegibilidad con el fin de consolidar el contenido de la información recopilada. Dentro de los criterios de inclusión se consideró tipos de documentos como artículos y conference paper, para el rango de periodo de publicación se consideró desde el 2018 hasta el 2024, ya que al ser un tema relativamente nuevo la literatura es reciente; asimismo, la mayoría de la búsqueda se filtró por idioma español de todos los documentos disponibles.

Tabla N°2: Criterios de inclusión y exclusión.

Criterios	Inclusión	Exclusión
Temática	CI1 Cadena de suministro	CE1 Otros temas
Tipos de documentos	CI2 Artículos	CE2 Otros documentos
Periodo de publicación	CI3 2018 al 2024	CE3 Años anteriores
Idiomas	CI4 Español	CE4 Otros idiomas
Área académica	CI5 Ingeniería y ciencia de los materiales	-
Disponibilidad	CI6 All open Access	-

Fuente: Elaboración propia.

La información de la tabla 2 sirvió para estructurar la ecuación de búsqueda, en la cual se incluyeron 5 palabras claves, cada una de ellas acompañada de comillas para una búsqueda literal de los términos deseados. Se utilizó el operador AND para realizar una intersección y LIMIT TO para realizar una exclusión, por lo cual se obtuvieron 172 publicaciones de la base de datos SCOPUS que más adelante serán reducidos al pasar el proceso de filtración correspondiente.

A continuación, en la tabla 3 se aprecia la ecuación utilizada en la base de datos, además de los resultados obtenidos.

Tabla N°3: Búsqueda de ecuación elaborada a partir de palabras claves y criterios de elegibilidad

N°	Base de datos	Fecha	Palabras claves	Ecuación	Resultados
1	Scopus	2019-2024	Cadena de Suministro	TITLE-ABS-KEY (cadena AND de AND suministro) AND PUBYEAR > 2018 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "MATE")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))	20

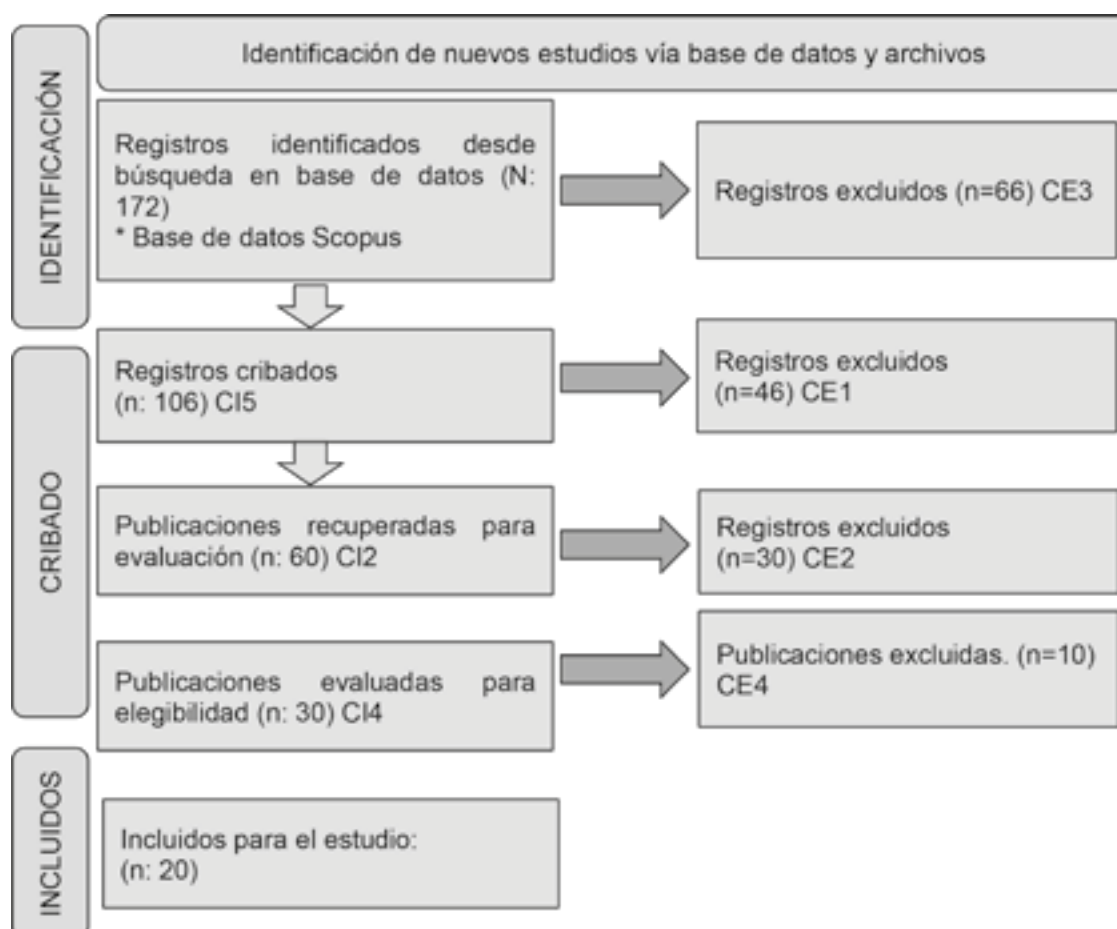
Fuente: Elaboración propia.

2.2. PRISMA

Para el proceso de filtración en el sistema Scopus se siguió la metodología PRISMA.

En la figura 1 se explica el diagrama de filtración y selección de artículos siguiendo la metodología prisma, donde se registró inicialmente 172 documentos, 66 fueron eliminados por año de publicación. Posteriormente, se eliminan 48 por sub-área (ingeniería), 30 seleccionando artículo como tipo de documentos, por último, por idioma se eliminaron 10, quedando finalmente 20 artículos.

Figura N°1: Diagrama de filtrado de publicaciones siguiendo metodología PRISMA



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4, se puede apreciar toda la información recopilada y organizada por autor, título, año de publicación y aporte. Se han enlistado los 20 artículos que serán utilizados en la construcción del trabajo de investigación.

Tabla N°4: Descripción de artículos por año, título, recurso y aporte

N°	Autor	Aporte	Año
1	(Hergeth, H.H, 2023)	La economía mundial todavía se está recuperando y los problemas en la cadena de suministro, específicamente en el área de la electrónica. En términos de innovación, no hay una trampa para ratones completamente nueva, pero las trampas para ratones existentes están mejorando continuamente, con eficiencias más altas, más automatización e integración de procesos, mejores controles y acceso remoto.	2023
2	(Davis, R.S. 2023)	Aparentemente, nada, ni siquiera una pandemia, interrupciones en la cadena de suministro y una crisis bancaria global, entre otros problemas, pudieron evitar que la industria textil se presentara en ITMA 2023, la feria comercial cuatrienal de la industria, propiedad del Comité Europeo de Fabricantes de Maquinaria Textil (CEMATEX).	2023
3	(Ferrández-Vega, D., Díaz-Velilla, J.-P., Zaragoza-Benzal, A., Zúñiga-Vicente, J.-Á., 2023)	Use of composite plaster material for the development of sustainable prefabricated: study of its manufacturing process, properties and supply chain Utilización de material compuesto de escayola para la elaboración de productos prefabricados sostenibles: estudio de su proceso de fabricación, propiedades y cadena de suministro	2023
4	(No Authors Found, 2023)	Techtextil North America y Texprocess Americas, dos exposiciones establecidas en la industria textil, se llevaron a cabo recientemente en el Georgia World Congress Center de Atlanta. Organizados por Messe Frankfurt Inc., la edición unificada de estos eventos atrajo a más de 350 expositores de 30 países y contó con la participación de numerosos asistentes representantes de toda la cadena de suministro textil.	2022
5	(Ruíz-Orjuela, E.T., Gatica-González, G., Adarme-Jaimes, W., 2023)	Revisión de literatura con análisis bibliométrico de la cadena de suministro hospitalaria	2023
6	(Osorno-Osorio, G.M., Rodríguez, L.R., Patiño-Rodríguez, C.E., 2023)	System dynamics for supply chain risk management in hybrid MTS/MTO production scenarios with short shelf-life products Dinámica de sistemas para la administración del riesgo en la cadena de suministro en escenarios de producción híbridos MTS/MTO con productos de vida útil corta	2023

7	Solís, J.	Hologenix LLC, con sede en Pacific Palisades, California, es una empresa dedicada a la ciencia de los materiales que innova con productos que brindan energía a las personas en diferentes aspectos de su vida tales como el hogar, el trabajo y el esparcimiento. Hologenix se distingue por utilizar materiales naturales de origen ético en sus productos, por una cadena de suministro de bajo impacto y por asociarse con marcas alineadas con sus principios medioambientales.	2022
8	[No Authors Found]	El término "cadena de suministro" se convirtió rápidamente en un vocablo de uso común a medida que la pandemia del Covid-19 se apoderó del mundo en el 2020. Para la mayoría de los consumidores, el término y su referencia no fue típicamente de gran preocupación. Los consumidores dependen de los vendedores y de los proveedores de servicios para satisfacer sus demandas de necesidades diarias en un momento dado.	2022
9	[No Authors Found]	El control de la calidad y los ensayos avanzados nunca han sido tan importantes que antes a través de la cadena de suministro textil. El manejo sólido de la calidad es importante en niveles múltiples — tales como en la planta, entre los abastecedores, y el aseguramiento de la calidad y la seguridad para las marcas y los consumidores.	2022
10	Marques, E., de Almeida Guimarães, V., de Azevedo-Ferreira, M., Boley, R.A.M.	Renewable energy in sustainable supply chain: A review Energía renovable en la cadena de suministro sostenible: una revisión	2022
11	de la Ossa, S.R., Novoa, A.Y., Rodríguez-Manrique, J.A., Merlano-Porto, R.H.	[Análisis computacional de superficie de respuesta de la transferencia de masa durante la etapa de almacenamiento en la cadena de suministro del Ñame (Dioscorea rotundata)]	2020
12	Thoney-Barletta, K.A.	En ITMA 2019 una variedad de diferentes tipos de software textil fueron exhibidos. Se presentaron muchas soluciones para la cadena de suministro textil entre las opciones, pero este artículo se centra específicamente en planeación y programación avanzadas (APS por sus siglas en inglés) para cadenas de suministro adaptadas a la industria textil.	2020
13	Cespón, M.F.	La construcción de escenarios utilizando un sistema de inferencia difuso para la optimización estocástica del rediseño de la cadena de suministro de reciclaje	2020

14	Berrones-Sanz, L.D., González-Peña, E.C., Vilchis, F.L., Lona, L.R.	Estudio de los efectos de las condiciones laborales de los conductores de autotransporte en la cadena de suministro en México.	2020
15	Guzmán, E., Poler, R., Andrés, B.	Un análisis de revisiones de modelos y algoritmos para la optimización de planes de aprovisionamiento, producción y distribución de la cadena de suministro	2020
16	Gimeno-Arias, F., Hernández-Espallardo, M.	Asignación de surtido, mercado paralelo y enforcement en la cadena de suministro de artículos de gran consumo: un análisis empírico	2020
17	Salas-Navarro, K., Meza, J.A., Obredor-Baldovino, T., Mercado-Caruso, N.	Evaluación de la cadena de suministro para mejorar la competitividad y productividad en el sector metalmecánico en Barranquilla, Colombia	2019
18	Cuenca, L., Esteso, A., Navarro, E. Dirección y Organización, 67, pp. 52–58	Impact of the gender perspective on the resilience of the supply chain Impacto de la perspectiva de género en la resiliencia de la cadena de suministro	2019
19	Giraldo-García, J.A., Castañón-Gómez, O.D., Ruiz-Herrera, S.	Simulación discreta y por agentes de una cadena de suministro simple incluyendo un sistema de información geográfica (SIG)	2019
20	Gaviria-Cuevas, J.F., Soto-Paz, J., Manyoma-Velasquez, P.C., Torres-Lozada, P.	Tendencias de investigación en la cadena de suministro de residuos sólidos municipales	2019

Fuente: Elaboración propia

3. Resultados

3.1. Análisis descriptivo de los artículos seleccionados

En la selección realizada se evidencia que a partir del año 2019 existe interés por la investigación relacionada a la optimización de la cadena de suministro utilizando inteligencia artificial, se observa que en promedio se tienen 05 publicaciones con un incremento de 06 publicaciones en el 2020.

A continuación, en la figura 2 se muestra la cantidad de artículos por cada año de publicación que fueron seleccionados en el proceso de aplicación de la metodología PRISMA.

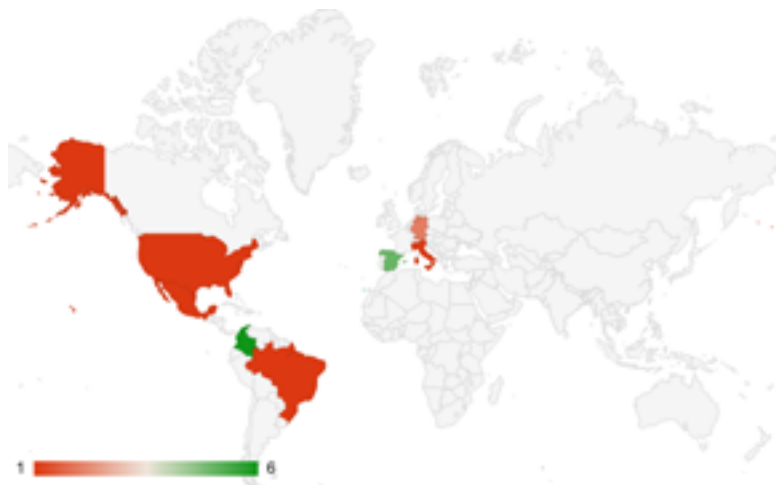
Figura N°2: Cantidad de artículos por año de publicación



Fuente: Elaboración propia

En la figura 3, se aprecia el mapa coroplético que se define como la representación cartográfica y cuantitativa de una base de datos estadística, donde se consideran superficies, tales como países o provincias. Los artículos fueron seleccionados según el país de procedencia; siendo Colombia el más representativo con 6 artículos, luego continúa España con 5, por su parte, Estados Unidos y Alemania con 2 cada uno. Por otro lado, México, Italia y Brasil con 1 fuente cada uno.

Figura N°3: Mapa coroplético de número de documentos por país de artículos seleccionados



Fuente: Elaboración propia

3.2. Análisis de correlación de los artículos por eje temático

1) ¿Qué algoritmos de machine learning son más eficientes en la optimización de procesos logísticos?

El uso de redes neuronales y la inteligencia artificial aportan sistemas que aprenden de los errores en la construcción de escenarios " (Feitó-Cespón et al., 2020, p. 479).

El presente artículo proporciona un estudio terciario, realizando un análisis sistemático de las revisiones de la literatura sobre modelos y algoritmos para la optimización de planes de aprovisionamiento, producción y distribución en la cadena de suministro y propone directrices útiles para la investigación y el desarrollo de nuevos modelos y algoritmos en dichas áreas. (Guzmán et al., 2020, p. 29)

La planeación avanzada en cadenas de suministro textiles emplea herramientas de software que integran módulos de inteligencia artificial, mejorando la precisión en la programación y la capacidad de respuesta a fluctuaciones en la demanda (Thoney-Barletta, 2020)

Los modelos y algoritmos revisados en este estudio destacan el uso de inteligencia artificial para mejorar los planes de aprovisionamiento y producción, reduciendo así los tiempos y costos operativos (Guzmán et al., 2020)

La simulación discreta y por agentes en una cadena de suministro utiliza sistemas de inteligencia artificial para optimizar el flujo logístico y mejorar la toma de decisiones en tiempo real (Giraldo-García et al., 2019)

2) ¿Cómo puede la inteligencia artificial mejorar la precisión de pronósticos de demanda en la cadena de suministro?

Debido a la incertidumbre en la predicción de la generación de los plásticos reciclables y la demanda de las empresas nacionales y la exportación de estas materias primas, es necesaria la modelación de varios escenarios posibles. Para esto, se construyó un sistema de inferencia difuso, utilizando el software profesional MATLAB. (Feitó-Cespón et al., 2020, p. 486)

Para validar el modelo DS aplicado al análisis de riesgos de la CS modificaron los valores de la demanda y de la producción con el fin de observar las alteraciones en el costo acumulado del inventario. (Osorno-Osorio et al. 2023, 9)

La resiliencia en la cadena de suministro mejora significativamente con la implementación de algoritmos de inteligencia artificial, que permiten prever riesgos y ajustar estrategias de manera dinámica (Cuenca et al., 2019)

3) ¿Qué tecnologías permiten automatizar la gestión de inventarios utilizando inteligencia artificial?

A partir de los resultados anteriores, fue posible desarrollar mediante herramientas software, la representación esquemática del comportamiento de la superficie de respuesta de la transferencia de masa. La figura 1, corresponde con tales resultados, e ilustra el comportamiento de la pérdida de peso frente a las condiciones de conservación del ñame que han sido descritas (Rodríguez-Manrique et al., 2020, p. 23).

La automatización del análisis de riesgo permite establecer estrategias de mitigación para los costos de vencimiento y agotamiento en la cadena de suministro. (Osorno-Osorio et al. 2023, 9)

La utilización del sistema de inferencia difuso constituye un valioso soporte metodológico para la elaboración de escenarios bajo condiciones de incertidumbre y escasez de datos (Feitó-Cespón et al., 2020, p. 491)

Las revisiones analizadas indican que los métodos de resolución más comunes son los algoritmos heurísticos y metaheurísticos, siendo los algoritmos matheurísticos un área emergente que combina elementos de los enfoques matemáticos y heurísticos para resolver problemas de gran tamaño y complejidad (Guzmán et al., 2020, p. 41)

El modelo computacional desarrollado incorpora algoritmos avanzados para la transferencia de masa, permitiendo optimizar el almacenamiento de productos mediante el uso de inteligencia artificial, reduciendo así las pérdidas operativas (De la Ossa et al., 2020),

Se identificó que el empleo de herramientas de inteligencia artificial en la gestión de riesgos laborales mejora significativamente la eficiencia operativa y reduce los costos asociados a la logística en la cadena de suministro (Berrones-Sanz et al., 2020)

¿Cuáles son los beneficios económicos y operacionales de implementar machine learning en la cadena de suministro?

El modelo de simulación incluye los niveles de características de los materiales y permite describir el impacto de los vencimientos en la toma de decisiones. (Osorno-Osorio et al. 2023, 7).

El valor que tiene la inferencia difusa como herramienta para la toma de decisiones permite aplicaciones muy diversas al campo del control automático donde mayormente se ha desarrollado y además, se perciben oportunidades para su utilización en el pronóstico de la demanda, la gestión de los inventarios, selección de proveedores entre otros aspectos relacionados con la gestión de la cadena de suministros. (Feitó-Cespón et al., 2020, p. 491)

Barbosa-Póvoa et al. (2018) coinciden con Brandenburg et al. (2014) en que se deben estudiar aspectos sociales y cuantificarlos, proponiendo para ello que se estudien los enfoques híbridos, en los que se combinen metaheurísticas, matheurísticas u otros tipos de métodos más eficientes. (Guzmán et al., 2020, p. 46)

El impacto de la energía renovable en la cadena de suministro se amplifica al combinarse con sistemas de inteligencia artificial, lo que permite una integración más eficiente y sostenible. La IA facilita el análisis predictivo para equilibrar la demanda y el suministro en cadenas complejas (Marques et al., 2022)

La utilización de sistemas de inferencia difusa basados en inteligencia artificial ha permitido desarrollar escenarios estocásticos para optimizar el rediseño de la cadena de suministro de reciclaje (Cespón, 2020)

En el ámbito de la economía circular, la inteligencia artificial ha permitido optimizar las cadenas de suministro de circuito cerrado mediante el análisis avanzado de datos y la implementación de estrategias digitales (Gimeno-Arias & Hernández-Espallardo, 2020)

El estudio revela que las herramientas basadas en inteligencia artificial incrementan la productividad y la competitividad del sector metalmecánico al optimizar los procesos de la cadena de suministro (Salas-Navarro et al., 2019)

La inteligencia artificial desempeña un papel clave en las tendencias actuales de investigación en cadenas de suministro de residuos sólidos, promoviendo la sostenibilidad y la eficiencia operativa (Gaviria-Cuevas et al., 2019)

4. Discusión

La aplicación de inteligencia artificial en la cadena de suministro ofrece beneficios tangibles en precisión operativa, reducción de costos y adaptabilidad. El uso de redes neuronales y simulaciones avanzadas no solo mejora la gestión de inventarios y la programación, sino que también permite sistemas que aprenden de los errores, lo cual es clave para enfrentar mercados dinámicos. Sin embargo, un desafío importante es garantizar la calidad y actualización constante de los datos, ya que cualquier error podría afectar significativamente el rendimiento del modelo.

El enfoque en sistemas de inferencia difusa para gestionar incertidumbre y riesgos en contextos específicos, como los plásticos reciclables, es innovador. Sin embargo, podría ampliarse a otros sectores industriales que enfrentan variaciones constantes en demanda o inventarios, explorando su implementación en mercados emergentes donde los datos suelen ser más limitados.

Finalmente, el vínculo entre sostenibilidad y machine learning resulta crucial, especialmente al promover estrategias de economía circular. Un aporte adicional sería incorporar análisis de impacto ambiental en tiempo real a través de estas tecnologías, lo que fortalecería la toma de decisiones sostenibles. La inteligencia artificial, complementada con colaboración entre actores clave, puede convertirse en el pilar de cadenas de suministro resilientes, adaptativas y responsables.

5. Conclusiones

La integración de redes neuronales e inteligencia artificial en los procesos de planificación y operación de la cadena de suministro ofrece ventajas significativas, como la mejora en la precisión de la programación, la optimización de los planes de aprovisionamiento y producción, y la reducción de tiempos y costos operativos. Estas herramientas permiten crear sistemas adaptativos que aprenden de los errores, responden eficazmente a fluctuaciones en la demanda y optimizan el flujo logístico mediante simulaciones avanzadas. Además, las revisiones sistemáticas de modelos y algoritmos subrayan la relevancia de seguir investigando y desarrollando soluciones innovadoras que fortalezcan estas capacidades.

La IA es muy útil para aplicar métodos sofisticados como el sistema de inferencia difuso que manejan la incertidumbre y los riesgos asociados con la producción y demanda de plásticos reciclables, lo que permite generar modelos más precisos y adaptativos a las variaciones del mercado. Esto permite no solo prever el comportamiento del inventario, sino que también proporciona herramientas para mejorar la toma de decisiones empresariales relacionadas con la optimización de costos, la gestión de riesgos y la planificación a largo plazo.

La implementación de la inteligencia artificial en los procesos de control y gestión de inventarios; ha demostrado ser altamente beneficiosa al automatizar actividades críticas como la predicción de la demanda, el monitoreo de niveles de inventario y la

detección de problemas operativos. Esta automatización no solo optimiza la eficiencia logística, sino que también permite reducir los costos asociados al agotamiento o exceso de inventarios. Además, los algoritmos avanzados y los sistemas de inferencia difusa contribuyen a la toma de decisiones bajo condiciones de incertidumbre, mejorando la capacidad de respuesta frente a cambios en las condiciones del mercado.

Las soluciones basadas en inteligencia artificial y machine learning han probado ser clave para mejorar la sostenibilidad y la eficiencia en las cadenas de suministro. Estas tecnologías permiten optimizar la planificación, reducir desperdicios y diseñar estrategias de circuito cerrado que integran la economía circular. Además, la implementación de procesos de manejo automatizado facilita una gestión más sostenible al minimizar el impacto ambiental y fomentar prácticas responsables a lo largo de toda la cadena.

6. Recomendaciones

Fomentar la implementación de inteligencia artificial y simulaciones avanzadas en la cadena de suministro para optimizar costos, tiempos y adaptabilidad a la demanda, asegurando una mejora continua en los procesos.

Invertir en herramientas y tecnologías avanzadas como MATLAB o software especializado en inferencia difusa y análisis de riesgos es fundamental. Estas herramientas permiten manejar la complejidad de los entornos de la cadena de suministro y son cruciales para optimizar los procesos de toma de decisiones en tiempo real. También es recomendable la capacitación continua del personal en el uso de estas herramientas.

Será recomendable realizar una investigación de los modelos o algoritmos aplicados con éxito para predecir la demanda en la cadena de suministro de diferentes productos o materiales y presentar una tabla que sirva de referencia.

Para maximizar los beneficios de la automatización en la gestión de inventarios, se recomienda:

Invertir en tecnologías de inteligencia artificial que permitan la integración de datos en tiempo real para mejorar la precisión y eficiencia de los procesos.

Capacitar al personal en el uso de herramientas de IA para garantizar una correcta implementación y manejo de las soluciones tecnológicas.

Establecer métricas claras para evaluar el impacto de la automatización en términos de costos, tiempos de respuesta y nivel de servicio.

La integración de inteligencia artificial y redes neuronales en la cadena de suministro aportan ventajas significativas, como la mejora en la planificación, la optimización del aprovisionamiento y la producción; y la reducción de costos y tiempos operativos. Herramientas como los sistemas de inferencia difusa permiten gestionar incertidumbres,

mejorar la toma de decisiones y prever comportamientos de inventarios, potenciando la eficiencia logística y la planificación a largo plazo. Además, estas tecnologías promueven sostenibilidad mediante estrategias de economía circular y manejo automatizado, reduciendo desperdicios e impulsando prácticas responsables y adaptativas frente a las fluctuaciones del mercado.

7. Agradecimiento

Agradecemos a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por brindar el soporte académico y técnico para la realización de esta investigación. Asimismo, reconocemos el valioso aporte de los autores y colaboradores que, mediante su experiencia y dedicación, contribuyeron significativamente al desarrollo de este estudio. Finalmente, agradecemos a las bases de datos científicas que facilitaron el acceso a fuentes clave de información.

8. Literatura citada

- BERRONES-SANZ, L.D., GONZÁLEZ-PEÑA, E.C., VILCHIS, F.L., & LONA, L.R. (2020). EFECTOS DE LAS CONDICIONES LABORALES EN CONDUCTORES DE TRANSPORTE. *JOURNAL OF TRANSPORTATION WORKFORCE*, 8(2), 22-40.
- CESPÓN, M.F. (2020). OPTIMIZACIÓN ESTOCÁSTICA DEL REDISEÑO DE CADENAS RECICLABLES. *SPRINGER APPLIED OPTIMIZATION*, 10(3), 67-81. [HTTPS://DOI.ORG/10.](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9888-8_3)
- CUENCA, L., & ESTESO, A. (2019). IMPACTO DE LA PERSPECTIVA DE GÉNERO EN LA RESILIENCIA DE CADENAS. *GENDER STUDIES IN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT*, 14(2), 23-40.
- DAVIS, R.S. (2023). RESILIENCIA DE LA INDUSTRIA TEXTIL FRENTE A PANDEMIAS Y CRISIS GLOBALES. *ITMA EXPOSICIÓN TEXTIL*.
- DE LA OSSA, S.R., NOVOA, A.Y., RODRÍGUEZ-MANRIQUE, J.A., & MERLANO-PORTO, R.H. (2020). ANÁLISIS COMPUTACIONAL SOBRE EL ALMACENAMIENTO EN LA CADENA DEL ÑAME. *COMPUTATIONAL SYSTEMS IN FOOD CHAINS*, 6(2), 45-65. [HTTPS://DOI.ORG/10.](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9888-8_3)
- FERRÁNDEZ-VEGA, D., DIAZ-VELILLA, J.-P., ZARAGOZA-BENZAL, A., & ZÚÑIGA-VICENTE, J.-Á. (2023). USO DE MATERIAL COMPUESTO SOSTENIBLE EN PRODUCTOS PREFABRICADOS. *INTERNATIONAL JOURNAL OF MANUFACTURING*, 15(4), 12-30. [HTTPS://DOI.ORG/10.](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9888-8_3)
- GAVIRIA-CUEVAS, J.F., SOTO-PAZ, J., MANYOMA-VELASQUEZ, P.C., & TORRES-LOZADA, P. (2019). INVESTIGACIÓN EN CADENAS DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES. *MUNICIPAL WASTE SUPPLY CHAINS*, 9(4), 56-70. [HTTPS://DOI.ORG/10.](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9888-8_3)
- GIMENO-ARIAS, F., & HERNÁNDEZ-ESPALLARDO, M. (2020). ANÁLISIS EMPÍRICO EN LA CADENA DE SUMINISTRO DE GRAN CONSUMO. *EMPIRICAL ANALYSIS IN FMCG SUPPLY CHAINS*, 18(4), 12-27. [HTTPS://DOI.ORG/10.](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9888-8_3)

- GIRALDO-GARCÍA, J.A., CASTRILLÓN-GÓMEZ, O.D., & RUIZ-HERRERA, S. (2019). SIMULACIÓN DISCRETA EN CADENAS SIMPLES CON SIG. *GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS FOR SUPPLY CHAINS*, 5(1), 78-95.
- GUZMÁN, E., POLER, R., & ANDRÉS, B. (2020). REVISIÓN DE MODELOS Y ALGORITMOS PARA PLANES DE PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN. *ALGORITHMS IN SUPPLY CHAIN OPTIMIZATION*, 15(1), 34-56. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/978-3-030-41111-1_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-41111-1_3).
- HERGETH, H.H. (2023). INNOVACIONES EN LA EFICIENCIA, AUTOMATIZACIÓN, Y CONTROLES EN LA CADENA DE SUMINISTRO ELECTRÓNICA. SPRINGER.
- MARQUES, E., DE ALMEIDA GUIMARÃES, V., DE AZEVEDO-FERREIRA, M., & BOLOY, R.A.M. (2022). REVISIÓN DEL IMPACTO DE LA ENERGÍA RENOVABLE EN CADENAS SOSTENIBLES. *RENEWABLE ENERGY IN SUPPLY CHAIN JOURNAL*, 14(5), 98-110. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/j.resusc.2022.100005](https://doi.org/10.1016/j.resusc.2022.100005).
- OSORNO-OSORIO, G.M., RODRÍGUEZ, L.R., & PATIÑO-RODRÍGUEZ, C.E. (2023). DINÁMICA DE SISTEMAS PARA LA ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO EN PRODUCTOS DE CORTA VIDA ÚTIL. *SPRINGER ADVANCES IN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT*, 22(3), 78-95. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/978-3-030-71111-1_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-71111-1_3).
- RUÍZ-ORJUELA, E.T., GATICA-GONZÁLEZ, G., & ADARME-JAIMES, W. (2023). REVISIÓN BIBLIOMÉTRICA SOBRE LA CADENA DE SUMINISTRO HOSPITALARIA. *INTERNATIONAL JOURNAL OF HEALTHCARE SUPPLY CHAINS*, 10(2), 45-60. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/978-3-030-71111-1_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-71111-1_3).
- SALAS-NAVARRO, K., MEZA, J.A., OBREDOR-BALDOVINO, T., & MERCADO-CARUSO, N. (2019). COMPETITIVIDAD Y PRODUCTIVIDAD EN LA CADENA DEL SECTOR METALMECÁNICO. *METALWORKING SUPPLY CHAIN JOURNAL*, 7(3), 45-60. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/978-3-030-41111-1_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-41111-1_3).
- SIN AUTOR. (2023). EXPOSICIÓN TEXTIL EN ITMA CON SOLUCIONES INNOVADORAS EN LA CADENA DE SUMINISTRO. ITMA INNOVACIÓN.
- SIN AUTOR. (2022). RELEVANCIA DE LA CALIDAD EN LA CADENA DE SUMINISTRO TEXTIL. *SUPPLY CHAIN INSIGHTS*, 12(4), 15-25.
- SIN AUTOR. (2022). IMPORTANCIA DEL CONTROL AVANZADO DE CALIDAD EN LA CADENA TEXTIL. *JOURNAL OF ADVANCED TEXTILE QUALITY*, 13(3), 23-39.
- SOLÍS, J. (2022). SOSTENIBILIDAD EN LA CADENA DE SUMINISTRO DE MATERIALES NATURALES. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY*, 8(1), 34-50. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/978-3-030-71111-1_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-71111-1_3).
- THONEY-BARLETTA, K.A. (2020). PLANEACIÓN AVANZADA EN LA CADENA TEXTIL CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL. *HANDBOOK OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR TEXTILES*, 5(3), 120-135.

Credenciales de sostenibilidad en la cadena de suministros de alimentos: evaluación del impacto de blockchain en trazabilidad

Srta. Diana Elizabeth Mariño Alarcón
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: diana.marino@unmsm.edu.pe

Sr. Alan Enrique Pisconte Campos
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: alan.pisconte@unmsm.edu.pe

Resumen: Este artículo tiene como objetivo evaluar el impacto de la tecnología blockchain en la trazabilidad y eficiencia de la cadena de suministro de alimentos, con un enfoque particular en la validación de credenciales de sostenibilidad. Se identificó que la implementación de blockchain no solo mejora la transparencia y la confianza del consumidor, sino que también optimiza los procesos logísticos. A través de una revisión sistemática de la literatura, se concluyó que blockchain puede transformar la gestión de credenciales, permitiendo a las empresas diferenciarse en un mercado cada vez más exigente. Como resultado, se espera un aumento significativo en la sostenibilidad y la eficiencia operativa en el sector alimentario.

Palabras claves: Sostenibilidad/ Credenciales/ Blockchain/ Cadena de suministro/ Alimentos/ Trazabilidad.

Abstract: This article aims to evaluate the impact of blockchain technology on the traceability and efficiency of the food supply chain, with a particular focus on the validation of sustainability credentials. It was identified that the implementation of blockchain not only improves transparency and consumer trust, but also optimizes logistics processes. Through a systematic review of the literature, it is concluded that blockchain can transform credential management, allowing companies to differentiate themselves in an increasingly demanding market. As a result, a significant increase in sustainability and operational efficiency in the food sector is expected.

Keywords: Sustainability/ Credentials/ Blockchain/ Supply chain/ Food/ Traceability.

Résumé: Cet article vise à évaluer l'impact de la technologie blockchain sur la traçabilité et l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement alimentaire, avec un accent particulier sur la validation des références en matière de durabilité. Il a été constaté que la mise en œuvre de la blockchain améliore non seulement la transparence et la confiance des consommateurs, mais optimise également les processus logistiques. Grâce à une revue systématique de la littérature, il est conclu que la blockchain peut transformer la gestion des identifiants, permettant aux entreprises de se différencier sur un marché de

plus en plus exigeant. En conséquence, une augmentation significative de la durabilité et de l'efficacité opérationnelle dans le secteur alimentaire est attendue.

Mots-clés: Durabilité/ Références/ Blockchain/ Supply chain/ Alimentation/ Traçabilité.

1. Introducción

Durante la última década, el sector de alimentos ha atravesado diversas problemáticas vinculadas con el seguimiento y confiabilidad en la cadena de suministro. Derivado del dinamismo de las cadenas de suministro, tanto la calidad y estado de los productos a lo largo de la cadena se ha comprometido. Producto de ello, la falta de transparencia en la información y la confiabilidad puesta por el consumidor, corren riesgo producto de las falencias en la seguridad alimentaria. Estas falencias reducen la confianza en el suministro de alimentos para verificar el origen y autenticidad de los productos. Considerando ello, la transparencia en las cadenas de suministro sostenibles es vital para fomentar la confiabilidad en todas las partes de la cadena de suministro (Burgess et al., 2024).

Asimismo, se aprecia un aumento por parte de los consumidores por productos sostenibles, lo que genera un esfuerzo extra a las cadenas de suministro. Sin embargo, la ausencia de trazabilidad de las credenciales referentes a sostenibilidad ya sea por emisiones de carbono o agrícolas, son vitales para las empresas (Cao et al., 2022). En dicho contexto, el blockchain se presenta como una alternativa que busca incrementar la eficiencia y mejorar el seguimiento en la cadena de suministro. Blockchain es un libro distribuido, público e inmodificable que permite almacenar, consolidar y verificar los datos en tiempo real, esta tecnología permite descentralizar y validar cada operación sin la necesidad de intermediarios. Con ello, se pueden transformar las cadenas de suministro, otorgando una mayor confiabilidad en las operaciones, reducir costes de operación y mejorar la trazabilidad de los productos en un 95% al contar con información en tiempo real durante toda la cadena (Duan et al., 2024).

Esta tecnología no solo permite la gestión logística sino también optimizar diversos procesos del sector mediante la integración de otras herramientas como IoT y la IA. De igual manera, facilita la identificación de fraudes y la verificación de los insumos desde el inicio de la cadena hasta el consumidor final; asimismo, el uso de blockchain podría ayudar a reducir reprocesos en la logística hasta en un 30% (Chunduri et al., 2024).

Es así que el presente artículo tiene como finalidad estudiar la relevancia del blockchain en el seguimiento y confiabilidad de la cadena de suministro en el sector alimenticio mediante diferentes plataformas.

Pregunta general

P.G. ¿Cómo puede la tecnología blockchain mejorar la trazabilidad de las credenciales de sostenibilidad en las cadenas de suministro de alimentos?

Preguntas específicas

P.E.1. ¿Cómo blockchain contribuye en la validación de credenciales de sostenibilidad en las cadenas de suministro de alimentos?

P.E.2. ¿Cómo puede la tecnología blockchain impactar en la seguridad y transparencia de la cadena de suministro?

P.E.3. ¿Cómo se puede llegar a un consenso sobre las mejores prácticas para la integración de blockchain para optimizar las credenciales de sostenibilidad en las cadenas de suministro de alimentos?

Objetivo general

Evaluar el impacto de blockchain en la trazabilidad de las credenciales de sostenibilidad en la cadena de suministro de alimentos.

Objetivos específicos:

O.E.1. Analizar el impacto de los beneficios de la implementación del blockchain en la validación de credenciales de sostenibilidad de la cadena de suministros.

O.E.2. Identificar los estudios sobre blockchain que ejemplifican el impacto en la trazabilidad y sostenibilidad

O.E.3. Evaluar las mejores prácticas sostenibles para la integración de blockchain enfocadas en la trazabilidad de credenciales de sostenibilidad de la cadena de suministro.

2. Metodología

2.1. Metodología PICOC

Este estudio adopta un enfoque sistemático para analizar cómo la tecnología Blockchain influye en la trazabilidad y eficiencia de la cadena de suministro de alimentos. Se utiliza una metodología PICOC, que organiza los criterios de elegibilidad en los informes de revisiones sistemáticas, la cual se basa en una revisión exhaustiva, análisis de estudios de caso y entrevistas a expertos, garantizando la calidad, objetividad y que los resultados sean replicables. Las directrices de Urrútia y Bonfill (2010) y M. Page (2021) respaldan esta metodología.

Se formuló la siguiente pregunta para la revisión sistemática de la literatura: ¿Cómo puede la tecnología blockchain mejorar la trazabilidad de las credenciales de sostenibilidad en las cadenas de suministro de alimentos?

2.2. Palabras clave especializadas pertinentes

Las palabras claves están alineadas a lo formulado en la pregunta general, clasificando estas palabras con la estructura de la pregunta. A continuación, se presenta la estructura detallada:

Tabla N°1: Estrategia del acrónimo PICOC

Código	Palabras clave en español	Palabras clave en inglés
P	Alimentos	Food
I	Tecnología blockchain	Blockchain
C	Sin comparación	-
O	Sostenibilidad, trazabilidad y eficiencia	Sustainability, traceability, efficiency
P	Cadena de suministros alimentarios	Supply chain, Supply chain food

Fuente: Elaboración propia

Nota: La siguiente tabla muestra la metodología PICOC utilizada para la RSL

2.3. Ecuación de búsqueda

En este punto se examinaron las palabras clave para comenzar la realización de la ecuación de búsqueda y facilitar el alcance de las publicaciones relevantes al tema investigado. La ecuación de búsqueda para la RSL es la siguiente:

("Traceability" AND "Supply Chain" AND "Sustainability") OR ("Blockchain" AND "Food" AND "Credentials") OR ("Traceability" AND "Food Safety" AND "Blockchain") OR ("Blockchain" AND "Supply Chain" AND "Certification") OR ("Sustainability" AND "Supply Chain" AND "Transparency").

2.4. Criterios de inclusión y exclusión de los artículos científicos

Los criterios desempeñan un papel crucial al garantizar la coherencia, pertinencia y validez de un estudio, además de ofrecer protección a los participantes involucrados. Definir criterios de manera clara y precisa contribuyen a mejorar la calidad de la investigación, facilitando la interpretación y aplicación generalizada de los resultados obtenidos. A continuación, se presentan los criterios seleccionados para la investigación:

Tabla N°2: Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
i1. Estudios del 2024 que aborden el uso de blockchain en cadenas de suministro alimentario.	e1. Artículos teóricos sin evidencia empírica.
i2. Investigaciones empíricas y casos que evidencien mejoras en trazabilidad y eficiencia.	e2. Estudios fuera del rango temporal o que no se traten específicamente en la industria alimentaria.
i3. Publicaciones en inglés y español con acceso completo.	e3. Revisiones, libros, tesis y artículos sin acceso completo.
i4. Empresas del sector alimentario que hayan adoptado blockchain en el 2024.	e4. Casos donde blockchain solo sea parcial o en fase piloto sin resultados medibles.
i5. Casos con datos cuantificables que muestren mejoras en transparencia y eficiencia.	e5. Empresas fuera del sector alimentario o sin datos claros sobre los beneficios obtenidos.
i6. Profesional con al menos 5 años de experiencia en blockchain o gestión de cadenas de suministro alimentario.	e6. Expertos sin experiencia en la industria alimentaria o con una experiencia limitada en este campo.

Fuente: Elaboración propia

Nota: La siguiente tabla muestra los criterios incluyentes y excluyente para PRISMA.

2.5. Descripción del proceso de selección

Resultados obtenidos del proceso de búsqueda de literatura científica

El resultado obtenido a raíz de la ecuación de búsqueda ingresada en la base de datos Scopus, muestra una cantidad de 200 publicaciones, que incluyen artículos y revisiones sistemáticas de literatura. Consiguientemente, se procedió a exportar las publicaciones en formato CSV a un cuadro general de Excel para facilitar la selección de las publicaciones definitivas en la investigación.

Descripción de la lógica de selección considerada

Para el proceso de selección se consideran criterios básicos y principales establecidos al inicio de la investigación. Estos criterios incluyen: la inclusión de la base de datos general (Scopus), así como otras bases de datos para la obtención de artículos adicionales (Web of Science y Google Scholar), y la exclusión de publicaciones que tengan más de cinco años, que tengan acceso restringido y que no sean artículos y/o revisiones. Además, se especifican criterios más detallados de inclusión y exclusión para la fase final de selección. Estos criterios se presentan en la tabla 2, con el objetivo de determinar la cantidad final de publicaciones a considerar en la RSL (revisión sistemática de la literatura) y el flujograma PRISMA.

Descripción detallada del proceso de selección y sus resultados

El diagrama PRISMA es una herramienta ampliamente empleada en revisiones sistemáticas, ya que permite a los autores llevar a cabo análisis exhaustivos de forma ágil. Esto facilita una comprensión más profunda del tema de investigación, al sintetizar de manera efectiva la evidencia relevante y generar nuevos conocimientos en el campo (Sohrabi et al., 2021). Por esta razón, el diagrama de flujo se elaboró en base a cuatro puntos fundamentales para su desarrollo, entre ellos; la identificación, cribado, idoneidad e inclusión:

Identificación

En este punto se identifican los estudios que muestran la ecuación de búsqueda formulada ($n=512$), asimismo, se cuenta con estudios identificados en registros adicionales ($n=10$). Todo ello genera un total de estudios identificados ($n=522$), excluyendo las publicaciones duplicadas realizadas en otra base de datos ($n=62$).

Cribado

En base a las publicaciones identificadas ($n=460$), se excluyen publicaciones sin acceso, con fecha límite y que no sean artículos y/o revisiones ($n=34$). Como resultado se obtienen publicaciones recuperadas para evaluación ($n=426$), en el cual, se excluyen aquellas publicaciones que su título y/o resumen no tengan relación con blockchain, trazabilidad, credenciales; y cadena de suministro de alimentos ($n=196$).

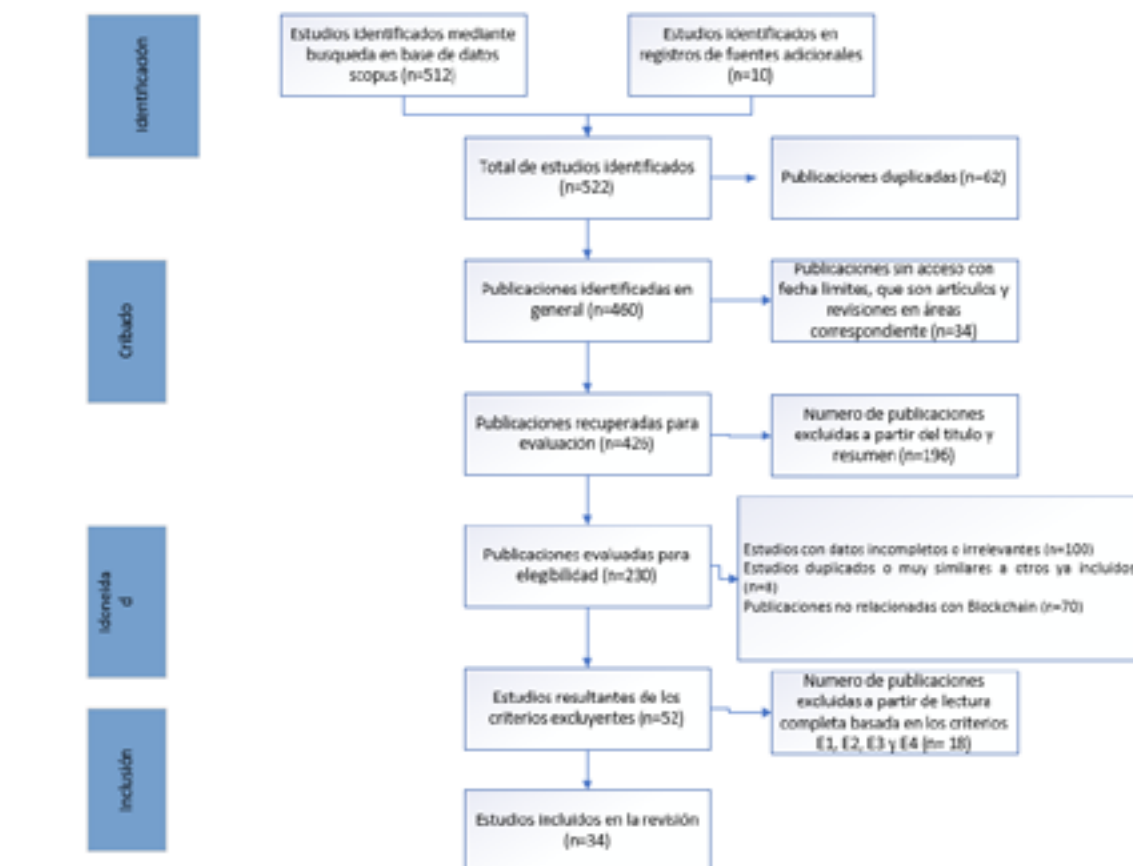
Idoneidad

De este modo se obtiene las publicaciones evaluadas para elegibilidad ($n=230$), luego se aplican los criterios de inclusión y exclusión para selección definitiva ($e1=100$; $e2=8$; $e3=70$), obteniéndose el resultado de estudios excluyentes ($n=52$). Finalmente se retiran los estudios de lectura completa ($n=18$).

Inclusión

De este modo, se obtiene la cantidad de estudios incluidos en la revisión ($n=34$), los cuales contribuirán al desarrollo del trabajo de revisión.

Figura N°1: Diagrama PRISMA.



Fuente: Elaboración propia

Nota: La figura 1 presenta el proceso de la elección de artículos para la RSL.

Tabla N°3: Aportes de artículos y revisiones seleccionados

N	Año	Autores	Título	Aporte	País
1	2024	Duong, Cong Doanh	Blockchain-enabled food traceability system and consumers' organic food consumption: a moderated mediation model of blockchain knowledge and trust in the organic food chain	Este artículo profundiza en cómo el conocimiento de blockchain influye en la confianza del consumidor en la cadena de suministro de alimentos orgánicos. Aporta una mirada centrada en el impacto que la tecnología tiene no solo a nivel de trazabilidad técnica, sino también en la confianza del consumidor y el valor percibido en mercados específicos como el de alimentos orgánicos.	Vietnam
		Dao, Thanh Tung			
		Vu, Trong Nghia			
		Ngo, Thi Viet Nga			
		Nguyen, Minh Hoa			
2	2024	Yuan, Hongping	Optimizing traceability scheme in a fresh product supply chain considering product competition in blockchain era	Aporta una base teórica y práctica para entender las mejoras en la trazabilidad, así como los desafíos competitivos que blockchain introduce en las cadenas de suministro de alimentos frescos.	China
		Zhang, Li			
		Cao, Bing-Bing			
		Chen, Wenwen			
3	2024	Kesava Rao Alla	Blockchain based deep learning for sustainable agricultural supply chain management	Aporta un enfoque innovador al integrar blockchain con deep learning para mejorar la trazabilidad y la eficiencia en la cadena de suministro agrícola, con un enfoque en la sostenibilidad y la optimización predictiva.	India
		Gunasekar Thangarasuv			
4	2024	Gaikwad, A.S.	Blockchain and IoT for food supply chain transparency	Aporta una visión integral sobre cómo la combinación de blockchain e IoT puede mejorar la trazabilidad, transparencia y eficiencia en la cadena de suministro de alimentos, al tiempo que ofrece beneficios en términos de automatización, prevención de fraudes y sostenibilidad.	India
		Kumar, D.			
		Gupta, S.			
		Hasan, W.			
5	2024	Burgess, P.	Information needs for transparency in blockchain-enabled sustainable food supply chains	Aporta un marco conceptual para comprender las necesidades de información cruciales para lograr la transparencia en las cadenas de suministro alimentarias habilitadas por blockchain.	Reino Unido
		Sunmola, F.			
		Wertheim-Heck, S.			
6	2024	Arora, S.	How does blockchain impact sustainable food security? Insights from literature review	Aporta una perspectiva integral sobre cómo blockchain puede impactar la seguridad alimentaria sostenible, proporcionando un contexto valioso para discutir los beneficios y desafíos de la tecnología en la trazabilidad y eficiencia de la cadena de suministros de alimentos.	India
		Oberoi, S.			
		Nabi, T.			
		Verma, B.			

N	Año	Autores	Título	Aporte	País
7	2024	Chunduri, V.	Blockchain-based secure optimized traceable scheme for smart and sustainable food supply chain	Aporta un marco para un modelo optimizado de trazabilidad que puede enriquecer el análisis sobre el impacto de blockchain en la trazabilidad y eficiencia de la cadena de suministros de alimentos, integrando aspectos de seguridad, sostenibilidad y la interacción con tecnologías inteligentes.	India
		Raparathi, M.			
		Yellu, R.R.			
		Keshta, I.			
		Byeon, H.			
		Soni, M.			
		Bhatt, M.W.			
8	2024	Duan, K.	Pioneering food safety: blockchain's integration in supply chain surveillance	Aporta una perspectiva integral sobre cómo el blockchain impacta tanto la seguridad como la eficiencia en la vigilancia de la cadena de suministros de alimentos. Además, resalta el valor de blockchain para la prevención de riesgos y cumplimiento normativo, que es esencial para garantizar una cadena de suministro segura y eficiente.	China
		Onyeaka, H.			
		Pang, G.			
		Meng, Z.			
9	2024	Alla, K.R.	Blockchain based deep learning for sustainable agricultural supply chain management	Aporta una perspectiva tecnológica avanzada al integrar blockchain y deep learning. Además de que brinda conocimiento cómo el blockchain mejora la trazabilidad y la eficiencia de la cadena de suministro de alimentos también de cómo puede hacerlo de manera predictiva y sostenible.	India
		Thangarasu, G.			
10	2024	Chiaraluce, G.	Exploring the role of blockchain technology in modern high-value food supply chains: global trends and future research directions	Aporta una base sólida para comprender cómo blockchain está transformando no solo la trazabilidad, sino también la eficiencia, sostenibilidad y competitividad en cadenas de suministro de alimentos de alto valor.	Italia
		Bentivoglio, D.			
		Finco, A.			
		Fiore, M.			
		Contò, F.			
		Galati, A.			
11	2022	Cao, S.	Exploring blockchain-based traceability for food supply chain sustainability: towards a better way of sustainability communication with consumers	Este artículo explora la implementación de blockchain en la trazabilidad de credenciales de sostenibilidad, para mejorar la transparencia en la cadena de suministro	Estados Unidos
		Johnson, H.			
		Tulloch, A.			

N	Año	Autores	Título	Aporte	País
12	2021	Hasan, H.R.	Smart agriculture assurance: IoT and blockchain for trusted sustainable produce	Aporta cómo las tecnologías facilitan la trazabilidad y sostenibilidad de los productos agrícolas a través de IoT y blockchain.	Turquía
		Musamih, A.			
		Salah, K.			
		Jayaraman, R.			
		Omar, M.			
		Arshad, J.			
		Boscovic, D			
13	2023	Rehman, K.U.	Blockchain-enabled smart agriculture: enhancing data-driven decision making and ensuring food security	Detalla el papel del blockchain y su contribución en la mejora de la toma de decisiones basada en datos	Pakistán
		Andleeb, S.			
		Ashfaq, M.			
		Akram, N.			
		Akram, M.W.			
14	2023	Contini, C.	¿Can blockchain technology strengthen consumer preferences for credence attributes?	Examina el uso de la tecnología blockchain en la mejora de las preferencias de los consumidores por factores de confiabilidad como la sostenibilidad y la autenticidad del producto	Italia
		Boncinelli, F.			
		Piracci, G.			
		Scozzafava, G.			
		Casini, L.			
15	2022	Ayan, B.	Blockchain technology and sustainability in supply chains and a closer look at different industries: a mixed method approach	Determina el uso de la tecnología blockchain para la verificación de credenciales de sostenibilidad de la cadena de suministro en diferentes sectores.	Turquía
		Güner, E.			
		Son-Turan, S.			
16	2024	Duan, K.	Leveraging blockchain to tackle food fraud: innovations and obstacles	Aborda el uso de blockchain en la resolución de problemas como fraude y los obstáculos que representa su implementación	Reino Unido
		Onyeaka, H.			
		Pang, G.			

N	Año	Autores	Título	Aporte	País
17	2024	Steinke, J.	Digital sustainability tracing in smallholder context: ex-ante insights from the peruvian cocoa supply chain	Promueve el uso seguimiento digital de la sostenibilidad relevante para la cadena de suministro del cacao peruano.	Perú
		Ivanova, Y.			
		Jones, S.K.			
		Minh, T.			
		Sánchez, A.			
		Sánchez-Choy, J.			
		Mockshell, J.			
18	2023	Ghomi-Avili, M.	A blockchain-based system for a network design problem considering pricing decisions and sustainability	Explora un sistema basado en tecnología blockchain que toma en cuenta decisiones relacionadas a credenciales de sostenibilidad	Irán
		Niaki, S.T.A.			
		Tavakkoli-Moghaddam, R.			
19	2023	Ullah, Z.	Blockchain applications in sustainable smart cities	Aborda el uso de la tecnología blockchain para crear ciudades inteligentes sostenibles.	Italia
		Naeem, M.			
		Coronato, A.			
		Ribino, P.			
		De Pietro, G.			
20	2023	Dal Mas, F.	Blockchain technologies for sustainability in the agrifood sector: a literature review of academic research and business perspectives	Revisión de la literatura que examina cómo la tecnología blockchain contribuye a la sostenibilidad dentro de la cadena de suministro de alimentos	Italia
		Massaro, M.			
		Ndou, V.			
		Raguseo, E.			
21	2023	Troisi, E.	Blockchain-based food supply chains: the role of smart contracts	Analiza la función de los contratos inteligentes en las cadenas de suministro de alimentos que utilizan la tecnología blockchain.	Italia
22	2023	Parmentola, A.	Unveiling the positive and negative effects of blockchain technologies on environmental sustainability in practice	Ejemplifica los impactos de blockchain y la repercusión en la sostenibilidad	Italia
		Tutore, I.			

N	Año	Autores	Título	Aporte	País
23	2023	Hassini, E.	Modeling the impact of IoT technology on food supply chain operations	Detalla los efectos de la IoT en la cadena de suministro de alimentos y su relación con blockchain	Canadá
		Ben-Daya, M.			
		Bahrour, Z.			
24	2023	Azad, R.U.	Block-chain aided cluster based logistic network for food supply chain	Este estudio aborda una cadena de suministro agrupada mediante el uso de blockchain	Bangladesh
		Ahammed, K.			
		Salam, M.A.			
		Efat, M.I.A.			
25	2023	Sadiq, M.B.	Improving traceability in the food supply chain management system	Detalla la mejora en la trazabilidad de los alimentos en una cadena de suministros	Pakistán
		Anal, A.K.			
26	2023	Kshetri, N.	Blockchain's role in enhancing quality and safety and promoting sustainability in the food and beverage industry	El impacto de blockchain en la mejora de la calidad y promoción de la sostenibilidad en la cadena de suministro basado en prácticas sostenibles	Estados Unidos
27	2023	Hassoun, A.	Creating new opportunities for sustainable food packaging through dimensions of industry 4.0: new insights into the food waste perspective	Explica nuevas formas de envasado de alimentos a través de la industria 4.0 y blockchain	Francia
		Boukid, F.			
		Ozogul, F.			
		Aït-Kaddour, A.			
		Soriano, J.M.			
		Lorenzo, J.M.			
		Perestrelo, R.			
		Galanakis, C.M.			
		Bono, G.			
		Bouyahya, A.			
		Jambrak, A.R.			
		Câmara, J.S.			

N	Año	Autores	Título	Aporte	País
28	2023	Munyavhi, A.	Blockchain technology, sustainability and future of public input distribution in Zimbabwe	El uso de blockchain en la verificación de credenciales de sostenibilidad en la distribución de insumos en Zimbabwe	Zimbabwe
		Shumbanhete, B.			
		Mapfumo, T.			
		Marodza, L.			
29	2022	Köhler, S.	Sustainability standards and blockchain in agro-food supply chains: synergies and conflicts	El uso de blockchain para la verificación de estándares de sostenibilidad en la cadena de suministro de alimentos	Dinamarca
		Bager, S.			
		Pizzol, M.			
30	2022	Ayan, B.	Blockchain technology and sustainability in supply chains and a closer look at different industries: a mixed method approach	Determina el uso de la tecnología blockchain para la verificación de credenciales de sostenibilidad de la cadena de suministro en diferentes sectores.	Turquía
		Güner, E.			
		Son-Turan, S.			
31	2023	Ghomi-Avili, M.	A blockchain-based system for a network design problem considering pricing decisions and sustainability	Explora un sistema basado en tecnología blockchain que toma en cuenta decisiones relacionadas a credenciales de sostenibilidad	Irán
		Niaki, S.T.A.			
		Tavakkoli-Moghaddam, R.			
32	2021	Rainero, C.	Food tracking and blockchain-induced knowledge: a corporate social responsibility tool for sustainable decision-making	Aborda el uso de blockchain como herramienta para la toma de decisiones acerca de la responsabilidad social corporativa	Italia
		Modarelli, G.			
33	2021	Adams, D.	Achieving sustainability in food manufacturing operations and their supply chains: key insights from a systematic literature review	Una revisión sistemática de literatura que explica el impacto de la sostenibilidad en la cadena de suministro de alimentos a través del uso de blockchain	Australia
		Donovan, J.			
		Topple, C.			

N	Año	Autores	Título	Aporte	País
34	2021	Yadav, S.	Modelling Internet of things (IoT)-driven global sustainability in multi-tier agri-food supply chain under natural epidemic outbreaks	Detalla cómo influye IoT en la sostenibilidad de cadenas de suministros de alimentos en contextos de pandemia	India
		Luthra, S.			
		Garg, D.			

Fuente: Elaboración propia

3. Resultados y discusión

3.1. Análisis descriptivo de los artículos

Como se ilustra en la figura 2, se ha producido un aumento notable en la cantidad de artículos de investigación publicados sobre la trazabilidad dentro de la cadena de suministro de alimentos. Los datos presentados demuestran un aumento significativo del año 2021 al 2024. Según los criterios de inclusión y exclusión detallados en la tabla 2, el recuento total de artículos asciende a 34.

Figura N°2: Número de publicaciones por año.



Fuente: Elaboración propia

Nota: Cantidad de artículos publicados entre los años 2021-2024

El número de publicaciones por país se ilustra en la figura 3, que muestra las contribuciones de 17 naciones diferentes para esta revisión sistemática de la literatura. Además, se proporciona el total de 34 artículos a los que se hace referencia en la sección 3.1. junto con la lista correspondiente de estos países.

Figura N°3: Cantidad de publicaciones por país.

Fuente: Elaboración propia

Nota: La figura 3 presenta los países donde provienen los artículos seleccionados

Para determinar la frecuencia de los países dentro de los resultados generales de la búsqueda, se realizó un análisis de diagrama de Pareto. Este análisis revela que el 70% del total de publicaciones se origina en solo el 30% de los países, y las naciones de Europa y Asia exhiben una mayor frecuencia que otras. A continuación, la figura 4 muestra un mapa de coropletas que sirve como referencia para los países que contribuyen a las búsquedas de publicaciones realizadas en Scopus. Como se ilustra en la figura 3, Italia tiene un mayor número de artículos en comparación con otros países.

Figura N°4: Mapa coroplético

Fuente: Elaboración propia

Nota: Cantidad de artículos por país.

Figura N°5: Gráfico relacional de palabras claves y años

Fuente: Elaboración propia

Nota: Frecuencia de palabras claves por año

El proceso de creación del metaanálisis implica la identificación de las palabras clave documentadas en cada una de las 34 publicaciones seleccionadas. En consecuencia, la figura 5 ilustra la utilización de la herramienta VOSviewer para extraer palabras clave de la base de datos Scopus a través de herramientas de gestión de referencias (RIS) y visualizar las relaciones entre ellas.

3.2. Análisis de correlación de los artículos seleccionados

En este punto se llevó a cabo un análisis de correlación entre las preguntas específicas formuladas al inicio y los artículos seleccionados en la tabla 3. A continuación se presenta la tabla 4, que incluye las preguntas específicas junto con los autores que las abordan.

Tabla N°4: Autores que respondan a las preguntas planteadas

P.E	Pregunta específica	Autores
P.E 1	¿Cómo blockchain contribuye en la validación de credenciales de sostenibilidad en las cadenas de suministro de alimentos?	- Adams, D., Donovan, J., & Topple, C. (2021)
		- Alla, K. R., & Thangarasu, G. (2025)
		- Arora, S., Oberoi, S., Nabi, T., & Verma, B. (2024)
		- Ayan, B., Güner, E., & Son-Turan, S. (2022)
		- Cao, S., Johnson, H., & Tulloch, A. (2022)
		- Chiaraluce, G., Bentivoglio, D., Finco, A., Fiore, M., Contò, F., & Galati, A. (2024)
		- Köhler, S., Bager, S., & Pizzol, M. (2022)
		- Rainero, C., & Modarelli, G. (2021)
		- Ghomi-Avili, M., Niaki, S. T. A., & Tavakkoli-Moghadam, R. (2023)
		- Burgess, P., Sunmola, F., & Wertheim-Heck, S. (2024)
		- Dal Mas, F., Massaro, M., Ndou, V., & Raguseo, E. (2023)
P.E 2	¿Cómo puede la tecnología blockchain impactar en la seguridad y transparencia de la cadena de suministro?	- Azad, R. U., Ahammed, K., Salam, M. A., & Efat, M. I. A. (2023)
		- Burgess, P., Sunmola, F., & Wertheim-Heck, S. (2024)
		- Chunduri, V., Raparathi, M., Yellu, R. R., Keshta, I., Byeon, H., Soni, M., & Bhatt, M. W. (2024)
		- Duan, K., Onyeaka, H., & Pang, G. (2024)
		- Duan, K., Onyeaka, H., Pang, G., & Meng, Z. (2024)
		- Duong, C. D., Dao, T. T., Vu, T. N., Ngo, T. V. N., & Nguyen, M. H. (2024)
		- Gaikwad, A. S., Kumar, D., Gupta, S., & Hasan, W. (2024)
		- Sadiq, M. B., & Anal, A. K. (2023)
		- Yuan, H., Zhang, L., Cao, B.-B., & Chen, W. (2024)
		- Contini, C., Boncinelli, F., Piracci, G., Scozzafava, G., & Casini, L. (2023)
		- Yadav, S., Luthra, S., & Garg, D. (2021)

P.E	Pregunta específica	Autores
P.E 3	¿Cómo se puede llegar a un consenso sobre las mejores prácticas para la integración de blockchain para optimizar las credenciales de sostenibilidad en las cadenas de suministro de alimentos?	- Alla, K. R., & Thangarasu, G. (2025)
		- Hassini, E., Ben-Daya, M., & Bahroun, Z. (2023)
		- Munyavhi, A., Shumbanhete, B., Mapfumo, T., & Marodza, L. (2023)
		- Parmentola, A., & Tutore, I. (2023)
		- Rehman, K. U., Andleeb, S., Ashfaq, M., Akram, N., & Akram, M. W. (2023)
		- Steinke, J., Ivanova, Y., Jones, S. K., Minh, T., Sánchez, A., Sánchez-Choy, J., & Mockshell, J. (2024)
		- Chunduri, V., Raparathi, M., Yellu, R. R., Keshta, I., Byeon, H., Soni, M., & Bhatt, M. W. (2024)
		- Köhler, S., Bager, S., & Pizzol, M. (2022)
		- Troisi, E. (2023)
		- Hassoun, A., Boukid, F., Ozogul, F., Ait-Kaddour, A., Soriano, J. M., Lorenzo, J. M., Perestrelo, R., Galanakis, C. M., Bono, G., Bouyahya, A., Jambrak, A. R., & Câmara, J. S. (2023)
		- Yuan, H., Zhang, L., Cao, B.-B., & Chen, W. (2024)
		- Ayan, B., Güner, E., & Son-Turan, S. (2022)

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1. Blockchain en la validación de credenciales de sostenibilidad

Importancia de las credenciales

Las credenciales de sostenibilidad son fundamentales en el contexto actual, donde los consumidores están cada vez más interesados en el origen y el impacto ambiental de los productos que consumen (Adams, 2021). Estas credenciales permiten a los consumidores identificar productos que cumplen con estándares de sostenibilidad, lo que a su vez fomenta prácticas responsables en la producción y distribución de alimentos (Alla & Thangarasu, 2024). Además, las credenciales verificadas ayudan a las empresas a diferenciarse en un mercado competitivo, aumentando la confianza del consumidor y mejorando la reputación de la marca (Cao et al., 2022). La importancia de estas credenciales radica en varios factores:

- **Confianza del consumidor:** los consumidores están cada vez más interesados en la sostenibilidad y buscan productos que reflejen sus valores (Arora et al., 2024). Las credenciales ayudan a construir confianza al proporcionar evidencia verificable de prácticas sostenibles.
- **Diferenciación en el mercado:** las empresas que pueden demostrar su compromiso con la sostenibilidad a través de credenciales pueden diferenciarse de sus competidores, lo que puede traducirse en una ventaja competitiva (Burgess et al., 2024).

- Cumplimiento normativo: en muchos países, existen regulaciones que exigen a las empresas demostrar prácticas sostenibles. Las credenciales ayudan a las empresas a cumplir con estas normativas y evitar sanciones (Chunduri et al., 2024).
- Acceso a mercados: algunos mercados, especialmente en la Unión Europea y América del Norte, requieren que los productos alimenticios tengan credenciales de sostenibilidad para ser comercializados (Rainero & Modarelli, 2021).

Validador de credenciales sostenibles

Blockchain actúa como un validador de credenciales sostenibles al proporcionar un registro inmutable y accesible de todas las transacciones relacionadas con la producción y distribución de alimentos (Duan et al., 2024). Cada acción relevante, desde la cosecha hasta la venta, se registra en la cadena de bloques, lo que permite a los consumidores y otros actores de la cadena de suministro verificar la autenticidad de las credenciales (Ghomi-Avili et al., 2023). Esto no solo asegura que las afirmaciones sobre sostenibilidad sean legítimas, sino que también promueve la responsabilidad y la transparencia en toda la cadena de suministro. Esto incluye:

- Inmutabilidad: una vez que se registra una credencial en la cadena de bloques, no puede ser alterada ni eliminada, lo que garantiza la integridad de la información (yadav et al., 2021).
- Transparencia: todos los participantes en la cadena de suministro pueden acceder a la misma información, lo que permite una mayor transparencia y confianza entre productores, distribuidores y consumidores (Kohler et al., 2022).
- Trazabilidad: blockchain permite rastrear el origen de los productos y las prácticas sostenibles a lo largo de toda la cadena de suministro, lo que facilita la validación de las credenciales (Sadiq & Anal, 2023).
- Automatización: a través de contratos inteligentes, se pueden automatizar procesos de verificación y validación, reduciendo costos y tiempos de respuesta (Steinke et al., 2024).

3.2.2. Blockchain y la transparencia en la cadena de suministro de alimentos

Seguridad y transparencia en la cadena de alimentos

La seguridad alimentaria es una preocupación crítica en la cadena de suministro. Blockchain puede mejorar la seguridad y la transparencia de varias maneras:

- Registro de datos en tiempo real: blockchain permite registrar y compartir datos en tiempo real sobre la producción, procesamiento y distribución de alimentos, lo que ayuda a identificar rápidamente cualquier problema de seguridad (Yuan et al., 2024).
- Prevención de fraudes: la transparencia que ofrece blockchain dificulta la manipulación de datos, lo que ayuda a prevenir fraudes en la etiquetación y comercialización de productos (Hassoun, et al., 2023).

- Acceso a información confiable: los consumidores pueden acceder a información verificada sobre el origen y las prácticas de producción de los alimentos, lo que les permite tomar decisiones informadas (Contini et al., 2023).
- Respuesta rápida a crisis: en caso de un brote de enfermedad o contaminación, la trazabilidad proporcionada por blockchain permite a las autoridades rastrear rápidamente el origen del problema y tomar medidas correctivas (Parmentola & Tutore, 2023).

Blockchain para trazabilidad y credenciales confiables

La trazabilidad es un componente esencial de la cadena de suministro de alimentos, y blockchain ofrece una solución robusta para garantizar que las credenciales sean confiables:

- Registro de cada etapa: cada transacción en la cadena de suministro se registra en la cadena de bloques, lo que permite rastrear el producto desde su origen hasta el consumidor final (Munhyavi et al., 2023).
- Verificación de credenciales: los consumidores y las empresas pueden verificar las credenciales de sostenibilidad de un producto escaneando un código QR o accediendo a una plataforma basada en blockchain (Troisi, 2023).
- Reducción de errores: al automatizar el registro de datos y la verificación de credenciales, se reducen los errores humanos y se mejora la precisión de la información (Rehman et al., 2023).
- Confianza en el sistema: la naturaleza descentralizada de blockchain significa que no hay un único punto de fallo, lo que aumenta la confianza en la integridad de los datos (Ayan et al., 2023).

3.2.3. Mejores prácticas para credenciales sostenibles con blockchain

Desafíos para integrar blockchain en credenciales sostenibles

A pesar de los beneficios, la integración de blockchain en la validación de credenciales sostenibles enfrenta varios desafíos:

- Costos de implementación: la adopción de tecnología blockchain puede requerir inversiones significativas en infraestructura y capacitación (Arco et al., 2022).
- Interoperabilidad: existen múltiples plataformas de blockchain, y la falta de estándares comunes puede dificultar la interoperabilidad entre diferentes sistemas (Gao et al., 2023).
- Resistencia al cambio: las empresas pueden ser reacias a adoptar nuevas tecnologías debido a la falta de comprensión o miedo a lo desconocido (Baskaran et al., 2023).
- Regulaciones: la falta de un marco regulatorio claro para el uso de blockchain en la cadena de suministro de alimentos puede ser un obstáculo para su adopción (Chunduri et al., 2024).

Mejores prácticas y estándares en credenciales de sostenibilidad

Para superar estos desafíos, es fundamental establecer mejores prácticas y estándares en el uso de blockchain para credenciales sostenibles:

- Colaboración entre partes interesadas: fomentar la colaboración entre productores, distribuidores, reguladores y consumidores para desarrollar estándares comunes y compartir mejores prácticas (Raparthi et al., 2024).
- Educación y capacitación: proporcionar formación sobre blockchain y sus beneficios para aumentar la aceptación y comprensión de la tecnología (Keshta & Byeon, 2024).
- Desarrollo de plataformas interoperables: trabajar en el desarrollo de plataformas de blockchain que sean interoperables y que faciliten la integración con sistemas existentes (Soni & Bhatt, 2024).
- Transparencia en la implementación: las empresas deben ser transparentes sobre cómo utilizan blockchain para validar credenciales, lo que ayudará a construir confianza entre los consumidores y otros actores de la cadena de suministro (Hassan, 2024).

3.2.4. Aportes y discusión

Blockchain otorga diferentes beneficios para el establecimiento y validación de credenciales de sostenibilidad en la cadena de suministro de alimentos puesto que permite la trazabilidad a lo largo de la cadena de suministro, posicionándose como un diferenciador clave (Adams, 2021). Esta tecnología ofrece la posibilidad de contar con datos confiables sobre la autenticidad y no manipulación de credenciales, asegurando no solo la transparencia, sino otorgando credibilidad al consumidor final al facilitar la verificación en cada etapa (Duan et al., 2024).

La concurrencia de blockchain con distintas tecnologías de la Industria 4.0 como IoT e IA mejora la eficiencia y promueve una mayor credibilidad sobre las credenciales de sostenibilidad en las cadenas de suministro de alimentos (Kohler et al, 2021). La implementación de estas tecnologías asegura estándares de calidad y sostenibilidad desde el origen hasta el consumidor final (Alla & Thangarasu, 2024). Asimismo, estas adecuaciones promueven una cadena de suministros sostenibles garantizando la eficiencia de los recursos (Arora et al., 2024). Finalmente, se garantiza estar dentro del marco de prácticas y normal ecológicas y sociales a fin de prever y actuar ante situaciones de manera rápida y eficaz (Rainero & Modarelli, 2021).

El uso de blockchain en credenciales de sostenibilidad ofrece la aplicación en diversos contextos geográficos como es el caso de Zimbabwe e Irán (Munhyavi et al., 2023). Es así que blockchain permite a pequeñas, medianas y grandes empresas la creación y validación de credenciales de sostenibilidad verificables (Hasan, 2024). Con ello, podrían competir en sectores o mercados en donde dichas credenciales sean un diferenciador o donde la sostenibilidad sea un requisito indispensable, no solo por regulaciones sino para promover prácticas sostenibles (Parmentola & Tutore, 2023).

4. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Blockchain se establece como una solución tecnológica innovadora que cambia la forma en la que se verifican o gestionan las credenciales de sostenibilidad en la cadena de suministro. Producto de la posibilidad de registrar las transacciones que se realizan en tiempo real y sin capacidad de modificarse permite a las industrias generar confianza duradera acerca de sus prácticas sostenibles. Es así que no solo brinda confianza al consumidor final, sino que también establece un marco de transparencia y responsabilidad en un entorno competitivo y socialmente responsable.
- Las credenciales de sostenibilidad no implican únicamente un compromiso ambiental y social sino que también cumplen un papel primordial en la diferenciación de productos. Las credenciales pueden conceder a las industrias a acceder a mercados cuyos requisitos son estrictos y satisfacer las necesidades de consumidores que valoran criterios de sostenibilidad. Asimismo, permite mejorar el estatus al proporcionar transparencia de las operaciones que se realizan.
- Sin considerar las ventajas que ofrece blockchain en la implementación de credenciales de sostenibilidad, existen desafíos por superar para la implementación de blockchain como estándar en la validación de diversos procesos; entre ellos los altos costos de implementación, la resistencia al cambio y la resistencia al cambio de diversas empresas. A pesar de ello, estos desafíos podrían permitir a las industrias alcanzar nuevos estándares y lograr cadenas de suministros más sostenibles y transparentes.

Recomendaciones

- Es necesario trabajar en la creación de estándares internacionales que regulen la validación de credenciales de sostenibilidad mediante blockchain. Estos estándares deben enfocarse en garantizar la interoperabilidad entre diferentes plataformas tecnológicas y simplificar su integración en cadenas de suministro existentes. La estandarización también proporcionará mayor claridad a las empresas y reducirá los costos asociados a la implementación de estas soluciones tecnológicas.
- Para maximizar los beneficios de blockchain en la validación de credenciales, es esencial promover la colaboración entre todos los actores de la cadena de suministro, incluidos productores, distribuidores, reguladores y consumidores. Esta colaboración puede tomar forma a través de consorcios o plataformas compartidas que permitan un intercambio de mejores prácticas y fomenten una adopción más rápida de la tecnología.
- La adopción de blockchain puede acelerarse mediante la implementación de programas educativos que expliquen de manera clara y accesible los beneficios, usos y desafíos de esta tecnología. La capacitación a empresas, especialmente a las pequeñas y medianas, es crucial para superar la resistencia al cambio y fomentar la confianza en las capacidades transformadoras de blockchain.

5. Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, quienes han sido mi mayor fuente de apoyo e inspiración. Su paciencia, cariño y confianza en mí han sido fundamentales en este camino. A cada uno de ustedes, gracias por creer en mí incluso en los momentos más desafiantes y por darme la fuerza para seguir adelante. Este logro no sería posible sin ustedes.

6. Literatura Citada

- ADAMS, D., DONOVAN, J., & TOPPLE, C. (2021). ACHIEVING SUSTAINABILITY IN FOOD MANUFACTURING OPERATIONS AND THEIR SUPPLY CHAINS: KEY INSIGHTS FROM A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW. *SUSTAINABLE PRODUCTION AND CONSUMPTION*, 28, 1491–1499. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.SPC.2021.08.019](https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.08.019)
- ALLA, K. R., & THANGARASU, G. (2025). BLOCKCHAIN BASED DEEP LEARNING FOR SUSTAINABLE AGRICULTURAL SUPPLY CHAIN MANAGEMENT. *JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH IN APPLIED SCIENCES AND ENGINEERING TECHNOLOGY*, 45(2), 142–151. [HTTPS://DOI.ORG/10.37934/ARASET.45.2.142151](https://doi.org/10.37934/ARASET.45.2.142151)
- ARORA, S., OBEROI, S., NABI, T., & VERMA, B. (2024). HOW DOES BLOCKCHAIN IMPACT SUSTAINABLE FOOD SECURITY? INSIGHTS FROM LITERATURE REVIEW. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION MANAGEMENT DATA INSIGHTS*, 4(2). [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.JJIMEI.2024.100276](https://doi.org/10.1016/j.jjimei.2024.100276)
- AYAN, B., GÜNER, E., & SON-TURAN, S. (2022). BLOCKCHAIN TECHNOLOGY AND SUSTAINABILITY IN SUPPLY CHAINS AND A CLOSER LOOK AT DIFFERENT INDUSTRIES: A MIXED METHOD APPROACH. *LOGISTICS*, 6(4). [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/LOGISTICS6040085](https://doi.org/10.3390/LOGISTICS6040085)
- AYAN, B., GÜNER, E., & SON-TURAN, S. (2022). BLOCKCHAIN TECHNOLOGY AND SUSTAINABILITY IN SUPPLY CHAINS AND A CLOSER LOOK AT DIFFERENT INDUSTRIES: A MIXED METHOD APPROACH. *LOGISTICS*, 6(4). [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/LOGISTICS6040085](https://doi.org/10.3390/LOGISTICS6040085)
- AZAD, R. U., AHAMMED, K., SALAM, M. A., & EFAT, M. I. A. (2023). BLOCK-CHAIN AIDED CLUSTER BASED LOGISTIC NETWORK FOR FOOD SUPPLY CHAIN. IN *LECTURE NOTES OF THE INSTITUTE FOR COMPUTER SCIENCES, SOCIAL-INFORMATICS AND TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING, LNICST: VOL. 491 LNICST*. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/978-3-031-34622-4_34](https://doi.org/10.1007/978-3-031-34622-4_34)
- BURGESS, P., SUNMOLA, F., & WERTHEIM-HECK, S. (2024). INFORMATION NEEDS FOR TRANSPARENCY IN BLOCKCHAIN-ENABLED SUSTAINABLE FOOD SUPPLY CHAINS. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION MANAGEMENT DATA INSIGHTS*, 4(2). [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.JJIMEI.2024.100262](https://doi.org/10.1016/j.jjimei.2024.100262)
- CAO, S., JOHNSON, H., & TULLOCH, A. (2022). EXPLORING BLOCKCHAIN-BASED TRACEABILITY FOR FOOD SUPPLY CHAIN SUSTAINABILITY: TOWARDS A BETTER WAY OF SUSTAINABILITY COMMUNICATION WITH CONSUMERS. *PROCEDIA COMPUTER SCIENCE*, 217, 1437–1445. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.PROCS.2022.12.342](https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.342)

- CHIARALUCE, G., BENTIVOGLIO, D., FINCO, A., FIORE, M., CONTÒ, F., & GALATI, A. (2024). EXPLORING THE ROLE OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN MODERN HIGH-VALUE FOOD SUPPLY CHAINS: GLOBAL TRENDS AND FUTURE RESEARCH DIRECTIONS. IN *AGRICULTURAL AND FOOD ECONOMICS* (VOL. 12, ISSUE 1). [HTTPS://DOI.ORG/10.1186/s40100-024-00301-1](https://doi.org/10.1186/s40100-024-00301-1)
- CHUNDURI, V., RAPARTHI, M., YELLU, R. R., KESHTA, I., BYEON, H., SONI, M., & BHATT, M. W. (2024). BLOCKCHAIN-BASED SECURE OPTIMIZED TRACEABLE SCHEME FOR SMART AND SUSTAINABLE FOOD SUPPLY CHAIN. *DISCOVER SUSTAINABILITY*, 5(1). [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/s43621-024-00287-2](https://doi.org/10.1007/s43621-024-00287-2)
- CONTINI, C., BONCINELLI, F., PIRACCI, G., SCOZZAFAVA, G., & CASINI, L. (2023). CAN BLOCKCHAIN TECHNOLOGY STRENGTHEN CONSUMER PREFERENCES FOR CREDENCE ATTRIBUTES? *AGRICULTURAL AND FOOD ECONOMICS*, 11(1). [HTTPS://DOI.ORG/10.1186/s40100-023-00270-x](https://doi.org/10.1186/s40100-023-00270-x)
- DAL MAS, F., MASSARO, M., NDOU, V., & RAGUSEO, E. (2023). BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABILITY IN THE AGRIFOOD SECTOR: A LITERATURE REVIEW OF ACADEMIC RESEARCH AND BUSINESS PERSPECTIVES. *TECHNOLOGICAL FORECASTING AND SOCIAL CHANGE*, 187. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.TECHFORE.2022.122155](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122155)
- DUAN, K., ONYEAKA, H., & PANG, G. (2024). LEVERAGING BLOCKCHAIN TO TACKLE FOOD FRAUD: INNOVATIONS AND OBSTACLES. *JOURNAL OF AGRICULTURE AND FOOD RESEARCH*, 18. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.JAFR.2024.101429](https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101429)
- DUAN, K., ONYEAKA, H., PANG, G., & MENG, Z. (2024). PIONEERING FOOD SAFETY: BLOCKCHAIN'S INTEGRATION IN SUPPLY CHAIN SURVEILLANCE. *JOURNAL OF AGRICULTURE AND FOOD RESEARCH*, 18. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.JAFR.2024.101281](https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101281)
- DUONG, C. D., DAO, T. T., VU, T. N., NGO, T. V. N., & NGUYEN, M. H. (2024). BLOCKCHAIN-ENABLED FOOD TRACEABILITY SYSTEM AND CONSUMERS' ORGANIC FOOD CONSUMPTION: A MODERATED MEDIATION MODEL OF BLOCKCHAIN KNOWLEDGE AND TRUST IN THE ORGANIC FOOD CHAIN. *SUSTAINABLE FUTURES*, 8, 100316. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.SFTR.2024.100316](https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100316)
- GAIKWAD, A. S., KUMAR, D., GUPTA, S., & HASAN, W. (2024). BLOCKCHAIN AND IoT FOR FOOD SUPPLY CHAIN TRANSPARENCY. IN *AGRICULTURE 4.0: SMART FARMING WITH IoT AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE*. [HTTPS://ES.COCHRANE.ORG/SITES/ES.COCHRANE.ORG/FILES/UPLOADS/PRISMA_SPANISH.PDF](https://es.cochrane.org/sites/es.cochrane.org/files/uploads/PRISMA_SPANISH.PDF)
- GERARD URRUTIA & XAVIER BONFILL (2010). PRISMA DECLARATION: A PROPOSAL TO IMPROVE THE PUBLICATION OF SYSTEMATIC REVIEWS AND META-ANALYSES. [HTTPS://WWW.REVESPCARDIOL.ORG/ES-DECLARACI243N-PRISMA-202058-UNA-GU237A-ACTUALIZADA-PARA-LA-PUBLICACI243N-DE-REVISIONES-SISTEM225TICAS-ARTICULO-S0300893221002748-PDF](https://www.revespcardiol.org/es-declaraci243n-prisma-202058-una-gu237a-actualizada-para-la-publicaci243n-de-revisiones-sistem225ticas-articulo-S0300893221002748-PDF)
- GHOMI-AVILI, M., NIAKI, S. T. A., & TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. (2023). A BLOCKCHAIN-BASED SYSTEM FOR A NETWORK DESIGN PROBLEM CONSIDERING PRICING DECISIONS AND SUSTAINABILITY. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, 423. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.JCLEPRO.2023.138696](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138696)

- GHOMI-AVILI, M., NIAKI, S. T. A., & TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. (2023). A BLOCKCHAIN-BASED SYSTEM FOR A NETWORK DESIGN PROBLEM CONSIDERING PRICING DECISIONS AND SUSTAINABILITY. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, 423. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.JCLEPRO.2023.138696](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138696)
- HASSINI, E., BEN-DAYA, M., & BAHROUN, Z. (2023). MODELING THE IMPACT OF IoT TECHNOLOGY ON FOOD SUPPLY CHAIN OPERATIONS. *ANNALS OF OPERATIONS RESEARCH*. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/s10479-023-05464-6](https://doi.org/10.1007/s10479-023-05464-6)
- HASSOUN, A., BOUKID, F., OZOGUL, F., AÏT-KADDOUR, A., SORIANO, J. M., LORENZO, J. M., PERESTRELO, R., GALANAKIS, C. M., BONO, G., BOUYAHYA, A., JAMBRAC, A. R., & CÂMARA, J. S. (2023). CREATING NEW OPPORTUNITIES FOR SUSTAINABLE FOOD PACKAGING THROUGH DIMENSIONS OF INDUSTRY 4.0: NEW INSIGHTS INTO THE FOOD WASTE PERSPECTIVE. *TRENDS IN FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 142. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.TIFS.2023.104238](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104238)
- KESAVA RAO ALLA, & GUNASEKAR THANGARASU. (2024). BLOCKCHAIN BASED DEEP LEARNING FOR SUSTAINABLE AGRICULTURAL SUPPLY CHAIN MANAGEMENT. *JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH IN APPLIED SCIENCES AND ENGINEERING TECHNOLOGY*, 45(2), 142–151. [HTTPS://DOI.ORG/10.37934/ARASET.45.2.142151](https://doi.org/10.37934/ARASET.45.2.142151)
- KÖHLER, S., BAGER, S., & PIZZOL, M. (2022). SUSTAINABILITY STANDARDS AND BLOCKCHAIN IN AGRO-FOOD SUPPLY CHAINS: SYNERGIES AND CONFLICTS. *TECHNOLOGICAL FORECASTING AND SOCIAL CHANGE*, 185. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.TECHFORE.2022.122094](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122094)
- KSHETRI, N. (2023). BLOCKCHAIN'S ROLE IN ENHANCING QUALITY AND SAFETY AND PROMOTING SUSTAINABILITY IN THE FOOD AND BEVERAGE INDUSTRY. *SUSTAINABILITY (SWITZERLAND)*, 15(23). [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/SU152316223](https://doi.org/10.3390/su152316223)
- MATTHEW PAGE (2021). DECLARACIÓN PRISMA 2020: UNA GUÍA ACTUALIZADA PARA LA PUBLICACIÓN DE REVISIONES SISTEMÁTICAS.
- MUNYAVHI, A., SHUMBANHETE, B., MAPFUMO, T., & MARODZA, L. (2023). BLOCKCHAIN TECHNOLOGY, SUSTAINABILITY AND FUTURE OF PUBLIC INPUT DISTRIBUTION IN ZIMBABWE. IN *SUSTAINABLE AGRICULTURAL MARKETING AND AGRIBUSINESS DEVELOPMENT: AN AFRICAN PERSPECTIVE*. [HTTPS://DOI.ORG/10.1079/9781800622548.0012](https://doi.org/10.1079/9781800622548.0012)
- PARMENTOLA, A., & TUTORE, I. (2023). UNVEILING THE POSITIVE AND NEGATIVE EFFECTS OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES ON ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY IN PRACTICE. IN *CSR, SUSTAINABILITY, ETHICS AND GOVERNANCE: VOL. PART F1663*. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/978-3-031-40010-0_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-40010-0_4)
- RAINERO, C., & MODARELLI, G. (2021). FOOD TRACKING AND BLOCKCHAIN-INDUCED KNOWLEDGE: A CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY TOOL FOR SUSTAINABLE DECISION-MAKING. *BRITISH FOOD JOURNAL*, 123(12), 4284–4308. [HTTPS://DOI.ORG/10.1108/BFJ-10-2020-0921](https://doi.org/10.1108/BFJ-10-2020-0921)

- REHMAN, K. U., ANDLEEB, S., ASHFAQ, M., AKRAM, N., & AKRAM, M. W. (2023). BLOCKCHAIN-ENABLED SMART AGRICULTURE: ENHANCING DATA-DRIVEN DECISION MAKING AND ENSURING FOOD SECURITY. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, 427. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.JCLEPRO.2023.138900](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138900)
- SADIQ, M. B., & ANAL, A. K. (2023). IMPROVING TRACEABILITY IN THE FOOD SUPPLY CHAIN MANAGEMENT SYSTEM. IN *PANDEMICS AND INNOVATIVE FOOD SYSTEMS*. [HTTPS://DOI.ORG/10.1201/9781003191223-5](https://doi.org/10.1201/9781003191223-5)
- STEINKE, J., IVANOVA, Y., JONES, S. K., MINH, T., SÁNCHEZ, A., SÁNCHEZ-CHOY, J., & MOCKSHELL, J. (2024). DIGITAL SUSTAINABILITY TRACING IN SMALLHOLDER CONTEXT: EX-ANTE INSIGHTS FROM THE PERUVIAN COCOA SUPPLY CHAIN. *WORLD DEVELOPMENT SUSTAINABILITY*, 5. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.WDS.2024.100185](https://doi.org/10.1016/j.wds.2024.100185)
- TROISI, E. (2023). BLOCKCHAIN-BASED FOOD SUPPLY CHAINS: THE ROLE OF SMART CONTRACTS. *EUROPEAN JOURNAL OF PRIVACY LAW AND TECHNOLOGIES*, 2023(SPECIAL IS), 1–24.
- ULLAH, Z., NAEEM, M., CORONATO, A., RIBINO, P., & DE PIETRO, G. (2023). BLOCKCHAIN APPLICATIONS IN SUSTAINABLE SMART CITIES. *SUSTAINABLE CITIES AND SOCIETY*, 97. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.SCS.2023.104697](https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104697)
- YADAV, S., LUTHRA, S., & GARG, D. (2021). MODELLING INTERNET OF THINGS (IoT)-DRIVEN GLOBAL SUSTAINABILITY IN MULTI-TIER AGRI-FOOD SUPPLY CHAIN UNDER NATURAL EPIDEMIC OUTBREAKS. *ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH*, 28(13), 16633–16654. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S11356-020-11676-1](https://doi.org/10.1007/s11356-020-11676-1)
- YUAN, H., ZHANG, L., CAO, B.-B., & CHEN, W. (2024). OPTIMIZING TRACEABILITY SCHEME IN A FRESH PRODUCT SUPPLY CHAIN CONSIDERING PRODUCT COMPETITION IN BLOCKCHAIN ERA. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*, 258, 125127. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ESWA.2024.125127](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.125127)

El fortalecimiento de la selección de proveedores en una empresa: una mirada hacia las nuevas prácticas mundiales relacionadas al avance tecnológico

Sr. Danny Guzmán Gálvez

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Correo electrónico: danny.guzmang@unmsm.edu.pe

Sr. Pedro Paredes Mellizo

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Correo electrónico: pedro.paredesm@unmsm.edu.pe

Resumen: Este estudio explora la adopción del fortalecimiento de la selección de proveedores en una empresa: una mirada hacia las nuevas prácticas mundiales relacionadas al avance tecnológico, con el objetivo de determinar su impacto en la mejora del proceso y selección. Utilizando un enfoque de revisión sistemática de la literatura (RSL) con criterios PRISMA y el acrónimo PICOC para la selección de estudios, se analizaron investigaciones relevantes publicadas entre 2020 y 2024. Utilizando una metodología de revisión sistemática PRISMA y basándose en el acrónimo PICOC para la selección de palabras clave y la formulación de preguntas de investigación, se identificaron y analizaron 32 artículos relevantes desde la base de datos SCOPUS. Los hallazgos sugieren que, adquirir nuevas tecnologías tienen el potencial de optimizar significativamente los procesos operativos y elevar los estándares en la selección de proveedores, su implementación efectiva se ve obstaculizada por barreras relacionadas con la falta de conocimiento especializado y experiencia práctica en estas metodologías. Este análisis subraya la importancia de un enfoque personalizado y contextualizado para superar dichas limitaciones, destacando que la adaptación de estas prácticas a las condiciones y necesidades específicas de las empresas es crucial para su éxito. Además, se enfatiza la necesidad de capacitación continua y desarrollo de habilidades en el personal para implementar nuevas tecnologías.

Palabras claves: Selección de proveedores/ Evaluación de proveedores/ Desarrollo de proveedores/ Tecnología empresarial/ Estrategia tecnológica.

Abstract: This study explores the adoption of strengthening supplier selection in a company: a look at new global practices related to technological advancement, with the aim of determining its impact on improving the process and selection. Using a systematic literature review (RSL) approach with PRISMA criteria and the PICOC acronym for study selection, relevant research published between 2020 and 2024 was analyzed. Using a PRISMA systematic review methodology and based on the PICOC acronym for the selection of keywords and formulation of research questions, 32 relevant articles were identified and analyzed from the SCOPUS database. The findings suggest that while acquiring new technologies have the potential to significantly optimize opera-

tional processes and raise standards in supplier selection, their effective implementation is hampered by barriers related to the lack of specialized knowledge and practical experience in these methodologies. This analysis highlights the importance of a personalized and contextualized approach to overcome these limitations, highlighting that the adaptation of these practices to the specific conditions and needs of companies is crucial for their success. In addition, the need for continuous training and skill development in personnel to implement new technologies is emphasized.

Keywords: Supplier selection/ Supplier evaluation/ Supplier development/ Enterprise technology/ Technology strategy.

Résumé: Cette étude explore l'adoption du renforcement de la sélection des fournisseurs dans une entreprise: un regard vers les nouvelles pratiques mondiales liées au progrès technologique, dans le but de déterminer son impact sur l'amélioration du processus et de la sélection. En utilisant une approche de revue systématique de la littérature (RSL) avec des critères PRISMA et l'acronyme PICOC pour la sélection des études, des recherches pertinentes publiées entre 2020 et 2024 ont été analysées. En utilisant une méthodologie de revue systématique PRISMA et en se basant sur l'acronyme PICOC pour la sélection des mots-clés et la formulation des questions de recherche, 32 articles pertinents ont été identifiés et analysés à partir de la base de données SCOPUS. Les résultats suggèrent que l'acquisition de nouvelles technologies a le potentiel d'optimiser considérablement les processus opérationnels et d'élever les standards dans la sélection des fournisseurs. Cependant, leur mise en œuvre effective est entravée par des barrières liées au manque de connaissances spécialisées et d'expérience pratique dans ces méthodologies. Cette analyse souligne l'importance d'une approche personnalisée et contextualisée pour surmonter ces limites, en mettant en évidence que l'adaptation de ces pratiques aux conditions et besoins spécifiques des entreprises est cruciale pour leur succès. En outre, il est souligné la nécessité d'une formation continue et d'un développement des compétences du personnel pour mettre en œuvre de nouvelles technologies.

Mots-clés: Sélection des fournisseurs/ Évaluation des fournisseurs/ Développement des fournisseurs/ Technologie commerciale/ Stratégie technologique.

1. Introducción

La pesquería es una actividad económica importante en proveer divisas, producción, impuestos y empleos. Las exportaciones pesqueras representan el 7% del aporte total de divisas para el país, principalmente por las exportaciones de aceite y harina de pescado, y la pesquería representa el 2% del PBI total nacional [1]. La pesca es una actividad económica importante en el Perú, que aporta al país en términos de divisas, producción, impuestos y empleos. En mayo de 2024, el sector pesquero extractivo registró un crecimiento de 329.2% en comparación con el mismo mes de 2023, alcanzando los S/ 385.2 millones [2].

Sin embargo, muchas de estas empresas enfrentan desafíos significativos en términos de eficiencia, fortalecimiento en la selección de proveedores, innovación tecnológica y adaptabilidad, manteniéndose arraigadas en procesos tradicionales por temor a los costos y complicaciones que podrían surgir al adoptar nuevas metodologías digitales para la mejora de procesos.

La relevancia de realizar una revisión sistemática de literatura sobre este tema se justifica por el dinamismo que existe en el mercado empresarial y ámbito tecnológico, donde las empresas del sector pesca al tener una cuota limitada de recursos hidrobiológicos deben buscar la eficiencia sobre sus procesos y transformación tecnológica. La última revisión significativa sobre la transformación tecnológica en el sector pesca fue realizada en 2023 por Inés Alicia Zanfrillo [3]. Desde entonces, ha surgido una cantidad considerable de nueva literatura, destacando la importancia de actualizar y sintetizar los conocimientos existentes para abordar las brechas y desafíos actuales en la implementación de estas metodologías.

El avance de las tecnologías también está mejorando la calidad de la gestión de los proveedores. A través de las plataformas de automatización es posible estandarizar y sistematizar todos los procesos de adquisición y gestión, haciendo la rutina mucho más sencilla y rápida. Un sistema de gestión de proveedores puede integrar diferentes áreas de la empresa, manejar una serie de datos y cruzar información de diferentes herramientas (como el e-commerce y el inventario, por ejemplo) para optimizar los procesos de venta [4]. Con un sistema de BPM (Business Process Management) es posible automatizar los procesos, controlar los cuellos de botella y transferir las actividades de forma más eficiente [4]. Con un ECM (Enterprise Content Management) es posible controlar toda la documentación con el proveedor y todas las acciones realizadas por él [5]. Finalmente, a través de la automatización, la empresa agiliza los procesos, aumenta la eficiencia y profesionaliza toda la gestión empresarial, consiguiendo resultados más satisfactorios y destacando entre la competencia. Con el propósito de abordar estas brechas, la presente revisión sistemática de literatura (RSL) es analizar y sintetizar la literatura existente sobre el fortalecimiento de la selección de proveedores en una empresa del sector pesca, poniendo en práctica la digitalización, con especial énfasis en la implementación de las nuevas prácticas tecnológicas y su aporte en las organizaciones. Este análisis busca ofrecer una comprensión profunda del impacto de ver a la tecnología como aliado de eficiencia y fortalecimiento de procesos, proporcionando una base sólida para su adopción efectiva y, por ende, contribuir a la mejora sustancial en la competitividad y desarrollo de rubro en el Perú.

Pregunta general

P.G. ¿Cómo las nuevas prácticas tecnológicas globales fortalecen la selección de proveedores en las empresas?

Preguntas específicas

P.E.1. ¿Porque es importante que una empresa se Soporte en la tecnología para la selección de sus proveedores?

P.E.2. ¿Qué áreas de una empresa permite fortalecer el uso de las nuevas tecnologías en la selección de proveedores?

P.E.3. ¿Qué tecnologías emergentes están transformando la selección de proveedores?

P.E.4. ¿Cómo las empresas pueden integrar IA y big data en la evaluación de proveedores?

La presente revisión tiene como principal contribución:

Objetivo general

Conocer el impacto positivo del uso de las tecnologías en la selección de proveedores del sector pesca. Ejemplos en el transcurso de la historia.

Objetivo específico

O.E.1. Analizar cómo la digitalización puede mejorar la eficiencia operativa.

O.E.2. Definir la importancia del fortalecimiento de la selección de proveedores.

O.E.3. Identificar las principales tecnologías que impactan la selección de proveedores.

O.E.4. Evaluar la integración de big data y IA en los procesos de evaluación de proveedores.

2. Metodología

Para investigar el fortalecimiento de la selección de proveedores en una empresa, se adoptó una mirada hacia las nuevas prácticas mundiales relacionadas al avance tecnológico. La estrategia de investigación se estructuró en torno a una pregunta de investigación precisa, formulada con el apoyo del marco PICOC. (tabla 1)

(Problema, intervención, comparación, resultados y contexto), facilitando así una búsqueda y análisis riguroso de la literatura relevante.

La pregunta central del estudio fue: "¿Cómo las nuevas prácticas tecnológicas globales fortalecen la selección de proveedores en las empresas?", se desarrolló una ecuación de búsqueda avanzada combinando términos. En este punto se analizaron las palabras claves para iniciar la realización de la ecuación de búsqueda y facilitar el alcance de las publicaciones pertinentes al tema investigado. La ecuación de búsqueda para el fortalecimiento de evaluación de proveedores aplicando tecnología es la siguiente:

("seleccion AND proveedores" OR "evaluacion AND proveedor" OR "desarrollo AND de AND proveedores" OR "tecnología AND empresarial" OR "estrategia AND tecnologica" OR "gestión"

La información de la tabla n°1 sirve para estructurar la ecuación de búsqueda, en la cual se incluyeron 8 palabras clave, cada una de ellas acompañada de comillas para una búsqueda literal de los términos deseados. Se utilizó el operador AND para realizar una intersección y OR para realizar una exclusión, por lo cual se obtuvieron 75 publicaciones de las dos bases de datos que más adelante serán reducidos al pasar el proceso de filtración correspondiente.

A continuación, en la Tabla N°1 se aprecian las ecuaciones que fueron utilizadas en ambas bases de datos, además de los resultados conseguidos.

Tabla N°1: Estrategia del acrónimo PICOC.

Código	Palabras clave en español	Palabras clave en inglés
P	Público del sector pesca.	Public in the fishing sector.
I	Implementación de estrategias avanzadas y criterios de selección.	Implementation of advanced strategies and selection. <u>Implementación de IA, big data y blockchain en la selección de proveedores.</u>
C	Comparación entre evaluación tradicionales y moderna. con enfoque tecnológico.	Comparison between traditional and modern evaluation, with a technological focus.
O	Optimización de procesos con enfoque en desarrollo tecnológico.	Optimization of processes with a focus on technological development.
C	Cadena de Suministros en el enfoque tecnológico en los procesos de selección y evaluación de proveedores.	Supply Chain in the technological approach in the supplier selection and evaluation processes.

Fuente: Elaboración propia.

Criterios de inclusión

- i1. Publicaciones correspondientes a la selección, evaluación y desarrollo de proveedores
- i2. Publicación de artículos relacionados a estrategias y enfoque empresarial.
- i3. Publicación de artículos relacionados a nuevas prácticas mundiales relacionadas al avance tecnológico
- i4. Artículos relacionados a empresas industriales de los sectores pesca y consumo masivo.

Criterios de exclusión

- e1. Publicaciones de entidades del estado, relacionados a temas políticos.
- e2. Publicaciones de artículos relacionados a plan empresariales a corto plazo.
- e3. Publicación de artículos relacionados a trabajos operativos no sistematizados.
- e4. Artículos no relacionados a empresas de sector pesca y consumo masivo.

En el proceso de selección siguiendo el diagrama de flujo PRISMA (Fig. 1), inicialmente se aplicó un primer filtro eliminando aquellos artículos que, tras la lectura de título y resumen, no cumplían con los criterios de inclusión o bien se alineaban con los criterios de exclusión.

Para el proceso de selección se toman en cuenta criterios básicos y principales considerados al inicio de la investigación. Esos criterios se detallan como: incluir a la base de datos general (Scopus), otras bases de datos para la extracción de artículos adicionales (Scielo y Google académico), excluir las publicaciones que tengan una antigüedad mayor a cinco años (artículos del 2020 en adelante), que cuenten con acceso restringido y que no sean artículos y/o revisiones.

Por otro lado, se detallan criterios más específicos, como los de inclusión y exclusión para la fase final de selección. Los criterios son señalados en la tabla 2, teniendo el propósito de determinar la cantidad final de publicaciones a considerar en la RSL (revisión sistemática de la literatura) y el flujograma PRISMA.

Los estudios fueron seleccionados en función de su relevancia para la pregunta de investigación, priorizando aquellos que ofrecían evidencia cuantitativa y cualitativa sobre los beneficios de las tecnologías en la eficiencia operativa.

Identificación:

En este punto se identifican los estudios que muestran la ecuación de búsqueda formulada ($n=244$), asimismo, se cuenta con estudios identificados fuera del tema del artículo ($n=40$). Todo ello genera un total de estudios identificados ($n=204$), excluyendo las publicaciones duplicadas realizadas en otra base de datos ($n=0$).

Cribado:

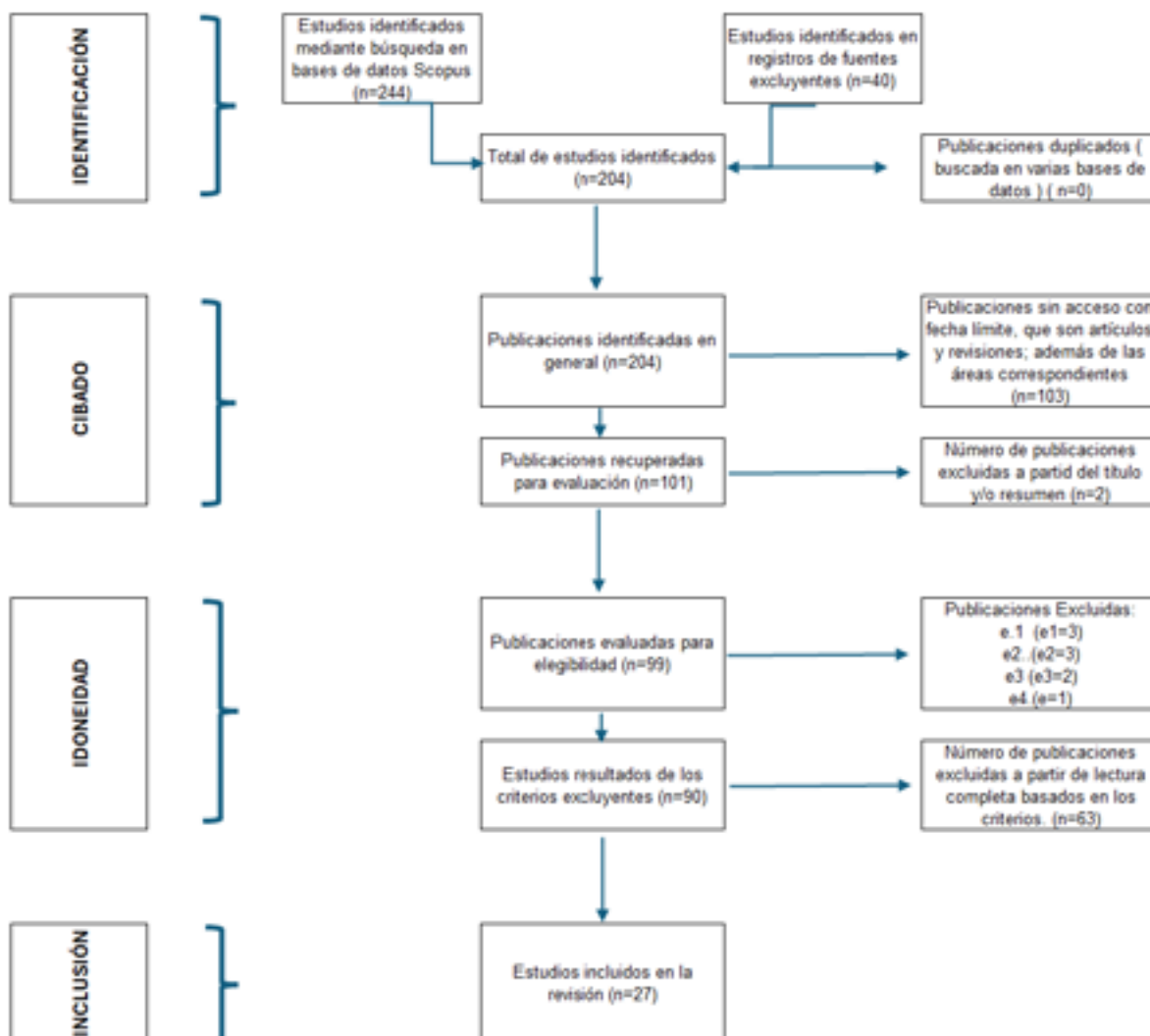
En base a las publicaciones identificadas ($n=204$), se excluyen publicaciones sin acceso, con fecha límite y que no sean artículos y/o revisiones ($n=103$). Como resultado se obtiene publicaciones recuperadas para evaluación ($n=101$), en el cual, se excluyen aquellas publicaciones que su título y/o resumen no tengan relación con el fortalecimiento de la selección de proveedores en una empresa: una mirada hacia las nuevas prácticas mundiales relacionadas al avance tecnológico ($n=2$).

Idoneidad:

De este modo se obtiene las publicaciones evaluadas para elegibilidad ($n=99$). Luego, se aplican los criterios de inclusión y exclusión para la selección definitiva ($e1=3$; $e2=3$; $e3=2$; $e4=1$), obteniendo el resultado de estudios excluyentes ($n=9$). Finalmente se retiran los estudios de lectura completa ($n=58$).

Inclusión:

Es así como se consigue la cantidad de estudios incluidos en la revisión ($n=32$), los cuales apoyarán al desarrollo del trabajo de revisión.

Figura n°1: Flujograma PRISMA de la filtración y selección de estudios

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 2: Tabla de aportes

ítem	TÍTULO	REVISTA	AÑO
1	Multi-criteria group decision analytics for sustainable supplier relationship management in a focal manufacturing company	Journal of Cleaner Production , 476, 143690	2024
2	A group intuitionistic fuzzy exponential TODIM method considering attribute interactions applied to green building material supplier selection	Sustainability (Switzerland) , 16(18), 7885	2024
3	An integrated multi-attributive border approximation area comparison (MABAC) method for evaluating resilience and knowledge sharing of suppliers in pythagorean fuzzy environment	Artificial Intelligence Review , 57(9), 227	2024
4	Enhancing supply chain safety and security: a novel AI-assisted supplier selection method	(Universidad de Texas A&M)	2022
5	Enhancing localisation in public procurements: a framework for evaluating suppliers' capabilities	(Universidad de Manchester)	2024
6	Optimizing bidders selection of multi-round procurement problem in software project management using parallel max-min ant system algorithm	Computers, Materials and Continua , 66(1), pp. 993–1010	2021
7	Data-driven distributionally robust supplier selection and order allocation problems considering carbon emissions	International Transactions in Operational Research , 32(2), pp. 1119–1145	2022
8	FM Services procurement and management: scenarios of Innovation	Springer Tracts in Civil Engineering , pp. 201–242	2019
9	Enhancing supply chain management with deep learning and machine learning techniques: a review	Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity , 10(4), 100379	2024
10	"Supplier selection in green supply chain management using correlation-based TOPSIS in a q-rung orthopair fuzzy soft environment"	H.Heliyon, 10(11), e32145	2024
11	"Supplier selection in the context of industry 4.0 using hybrid DEA-SMART method"	International Journal of Supply and Operations Management , 11(2), pp. 216–230	2024
12	Selección de proveedores en una institución pública: un enfoque sostenible y jerárquico Selección de proveedores en una institución pública: Un enfoque sostenible y jerárquico	Revista Venezolana de Gerencia , 28(10), págs. 1541–1559	2023
13	Criterios de selección de proveedores sustentables en la cadena de suministro de la minería del cobre en Chile Criterios de selección de proveedores sostenibles en la cadena de suministro de la minería del cobre en Chile	Ingeniería e Investigación , 41(2), e89641	2021

14	Desarrollo de un sistema de información web para evaluar proveedores de servicios de mantenimiento en una industria automotriz Desarrollo de un sistema de información web para evaluación de prestadores de servicios de mantenimiento en una industria automotriz.	Sapienza , 3(1), págs. 298–311	2022
15	Cambios recientes y continuidad de la dependencia tecnológica y económica de la industria farmacéutica en Brasil Mudanças recentes e continuidade da dependência tecnológica e econômica da indústria farmacêutica em Brasil	Cuadernos de salud pública , 38Suppl 2(Suppl 2), págs. E00104020	2022
16	Análisis del uso de tecnologías de la industria 4.0 como ventaja competitiva Análisis del uso de las tecnologías de la industria 4.0 como ventaja competitiva	Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa , 35, págs. 16–33	2023
17	Estudios de futuros estratégicos y resiliencia empresarial: un enfoque en las tendencias de la tecnología digital y los mercados emergentes Estudios estratégicos futuros y resiliencia empresarial: análisis de tendencias en tecnología digital y mercados emergentes	M.Tec Empresarial, 16(1), págs. 87–100	2022
18	Modelo eficiente de análisis de clusters como estrategia de segmentación: responsabilidad social inductiva de la innovación tecnológica en Mypes Modelo eficiente del análisis de conglomerados como estrategia de segmentación: responsabilidad social inductiva de la innovación tecnológica en Mypes	Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology	2024
19	Selection of suppliers in mining. Litieras case in Argentina [Selección de proveedores en la minería. Caso litieras en Argentina Institución: Universidad Nacional de Salta, Argentina]	Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, (2023) 31:39	2023
20	How to improve supplier selection for complex items using product engineering: perspectives from the industry [Cómo mejorar la selección de proveedores de elementos complejos usando la ingeniería de producto: perspectivas desde la industria]	Dyna Ingeniería e Industria (España)	2020
21	Evaluation of coffee processing suppliers using the Fuzzi Topsis method in the municipality of Colinas, Santa Barbara, Honduras [Evaluación de proveedores de procesamiento de café utilizando el método Fuzzi Topsis en el municipio de Colinas, Santa Bárbara, Honduras.]	Actas de la Multiconferencia Internacional LACCEI sobre Ingeniería, Educación y Tecnología, 2022-diciembre	2022
22	"Enhancing supply chain safety and security: a novel AI-assisted supplier selection method"	Toma de decisiones: aplicaciones en la gestión y la ingeniería	2024
23	"Significant features with M-Polar neutrosophic topological spaces and Grey Wolf optimization algorithm for bankruptcy prediction model"	Revista Internacional de Ciencia Neutrosófica	2024

24	Supplier evaluation and classification in a colombian motorcycle assembly company using data envelopment analysis [Evaluación y clasificación de proveedores en una ensambladora colombiana de motocicletas con análisis envolvente de datos]	(2019). Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 92, 73-86.	2019
25	Oportunidades de investigación a partir del análisis de revisiones de literatura de selección de proveedores	Actas de la 33.ª Conferencia de la Asociación Internacional de Gestión de Información Empresarial, IBIMA 2019: Excelencia educativa y gestión de la innovación a través de Visión 2020	2019
26	A value chain analysis of health insurance industry, government and healthcare providers in Indonesia [Un análisis de la cadena de valor de la industria de seguros de salud, el gobierno y los proveedores de atención médica en Indonesia]	Faculty of Economics and Business, Universitas Airlangga, Indonesia	2019
27	Technological collaboration with suppliers in product innovation: analysis of the spanish manufacturing industry	Rev. Innovar vol. 24, EDICIÓN ESPECIAL 2014	2014
28	Methodology for business strategy and improvement plans for micro and small businesses as local suppliers of a mining company [metodología para diagnóstico estratégico y plan de mejora de micro y pequeñas empresas como proveedores locales de una compañía minera]	Metodología para diagnóstico estratégico y plan de mejora de micro y pequeñas empresas como proveedores locales de una compañía minera. Revista de Gestión y Desarrollo Sostenible, 14(2), 1-15	2022

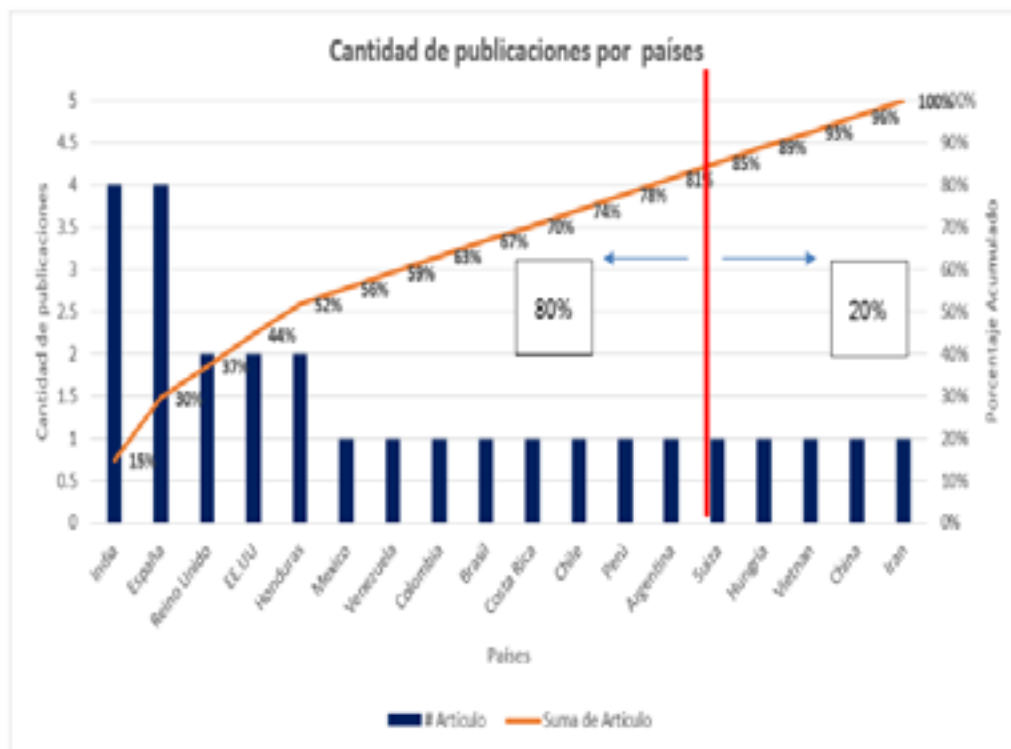
Fuente: Elaboración propia.

3. Resultados

Los resultados fueron estructurados utilizando una sección principalmente: análisis bibliométrico descriptivo de los estudios seleccionados, alineados con los objetivos de la RSL.

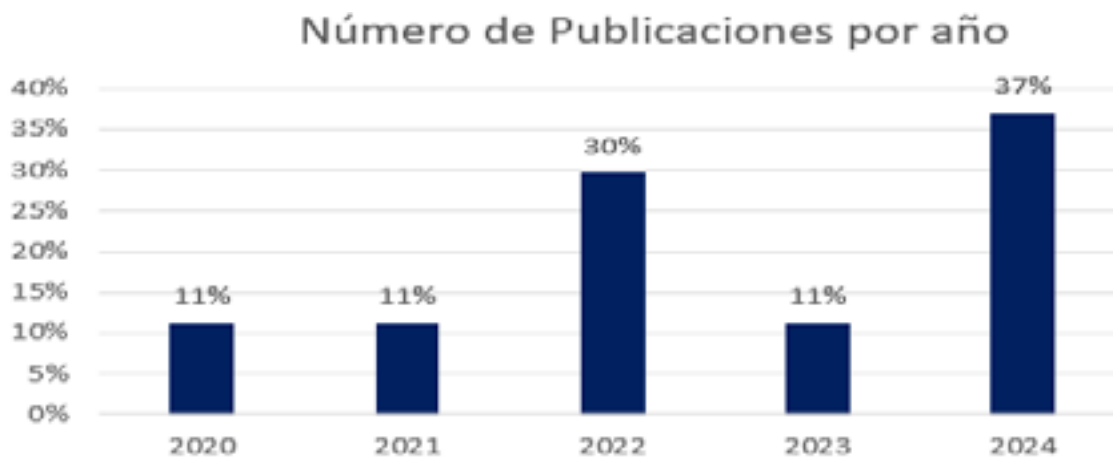
3.1. Análisis descriptivos de artículos

En la figura 2 se aprecia la cantidad de publicaciones por país, contando con el aporte de 27 países para esta revisión sistemática de la literatura, así mismo se presenta la lista de los países respectivos, así como el total de los 32 artículos mencionados en el punto 3.1.

Figura N° 2: Número de publicaciones por país.

Fuente: Elaboración propia.

El número de publicaciones de artículos de investigación relacionados con el tema de “El fortalecimiento de la selección de proveedores en una empresa” ha tenido un aumento como se puede apreciar en la figura 3. Los resultados mostrados indican que en comparación con el año 2020 a 2024 existe un aumento de 3% a 10% respectivamente. En base los criterios de exclusión e inclusión explicados en la tabla 2, queda como total la cantidad de 32 artículos.

Figura N° 3: Número de publicaciones por año.

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó el análisis del diagrama de Pareto, con la finalidad de establecer la frecuencia de los países en el resultado total de la búsqueda. Con ello podemos decir que, el 80% del resultado total de las publicaciones provienen del 20% de los países, teniendo a países del continente europeo y asiático, con una mayor frecuencia frente a los demás.

3.2. Análisis de correlación entre los artículos seleccionados

Importancia que una empresa se soporte en la tecnología

La integración de tecnologías avanzadas en la selección de proveedores se ha convertido en un factor esencial para que las empresas optimicen sus operaciones y fortalezcan su cadena de suministro. Los artículos revisados ofrecen evidencia sólida de cómo estas herramientas tecnológicas pueden mejorar significativamente el proceso de selección de proveedores, aportando eficiencia, sostenibilidad y seguridad.

El primer artículo, "Multi-criteria group decision analytics for sustainable supplier relationship management in a focal manufacturing company" (Li et al., 2024), introduce un enfoque de decisión grupal multicriterio que permite evaluar proveedores considerando criterios económicos, sociales y ambientales. Esta metodología destaca la importancia de un análisis integral de los proveedores, que no solo se basa en costos o capacidades, sino que también valora aspectos de sostenibilidad. Al incorporar factores ambientales y sociales en la evaluación, las empresas pueden alinearse mejor con los objetivos globales de sostenibilidad, lo que es particularmente relevante en el contexto de la responsabilidad social corporativa.

En la misma línea, "Supplier selection in green supply chain management using correlation-based TOPSIS in a q-rung orthopair fuzzy soft environment" (Zulqarnain et al., 2024), subraya la necesidad de seleccionar proveedores sostenibles utilizando métodos avanzados, como el TOPSIS basado en lógica difusa. Este enfoque permite a las empresas manejar la incertidumbre en las evaluaciones, lo que es crucial en la toma de decisiones en un entorno cambiante y orientado hacia prácticas ecológicas. La metodología ayuda a identificar proveedores que cumplen con los requisitos de sostenibilidad, facilitando una mejor alineación con los objetivos ecológicos y reduciendo el impacto ambiental de la cadena de suministro.

Por otro lado, el artículo "Enhancing supply chain safety and security: a novel AI-assisted supplier selection method" (Pap et al., 2022), muestra cómo la inteligencia artificial (IA) puede mejorar la seguridad en la cadena de suministro. La IA permite una evaluación detallada y en tiempo real de los riesgos asociados con cada proveedor, lo que fortalece la capacidad de las empresas para anticipar y mitigar riesgos antes de que afecten las operaciones. Esta innovación resulta especialmente relevante en sectores críticos donde la seguridad es prioritaria, ya que la IA facilita una respuesta rápida y adaptativa ante posibles amenazas.

Además, "Enhancing supply chain management with deep learning and machine learning techniques: a review" (Khedr & S, 2024), presenta una revisión de cómo el apren-

dizaje profundo y el aprendizaje automático están transformando la gestión de la cadena de suministro. Estas tecnologías permiten una mayor precisión en la predicción de la demanda, optimización de inventarios y planificación de rutas logísticas, lo cual, en el contexto de la selección de proveedores, ayuda a predecir el desempeño de los proveedores y a mejorar la resiliencia frente a las variaciones de mercado. La automatización y el análisis de grandes volúmenes de datos hacen que la selección de proveedores sea más objetiva, reduciendo la subjetividad y permitiendo decisiones basadas en evidencia.

Finalmente, el artículo "Supplier selection in the context of industry 4.0 using hybrid DEA-SMART method" (Bahreini & Erdebilli, 2024), explora un método híbrido que integra DEA y SMART, lo que permite una evaluación exhaustiva de proveedores en el contexto de la industria 4.0. Este enfoque es particularmente efectivo para evaluar la capacidad tecnológica de los proveedores y su adaptabilidad a un entorno digitalizado. A medida que la industria avanza hacia la automatización y la digitalización, este tipo de evaluaciones es crucial para asegurar que los proveedores puedan operar eficientemente en un entorno cada vez más interconectado.

Una empresa permite fortalecer el uso de las nuevas tecnologías en la selección de proveedores

La implementación de nuevas tecnologías en la selección de proveedores permite fortalecer diversas áreas estratégicas dentro de una empresa, desde la eficiencia operativa hasta el cumplimiento de objetivos de sostenibilidad y seguridad. Los estudios analizados presentan ejemplos claros de como las herramientas tecnológicas pueden optimizar áreas clave, lo que a su vez mejora la competitividad y resiliencia de la cadena de suministro.

En primer lugar, el artículo "A group intuitionistic Fuzzy Exponential TODIM method considering attribute interactions applied to green building material supplier selection" (Jia et al., 2024), aborda la selección de proveedores sostenibles mediante un método que considera la interacción entre múltiples atributos. Al aplicar la técnica TODIM y la lógica difusa, este enfoque permite mejorar el análisis de sostenibilidad de los proveedores, especialmente relevante para empresas comprometidas con reducir su impacto ambiental. Este método fortalece el área de sostenibilidad corporativa, ya que facilita la selección de proveedores alineados con criterios ecológicos, lo cual es crucial para alcanzar los objetivos ambientales y mejorar la imagen de la empresa en cuanto a responsabilidad social.

En el ámbito de la seguridad en la cadena de suministro, el artículo "Enhancing supply chain safety and security: a novel AI-assisted supplier selection method" (Pap et al., 2022), introduce un método de selección de proveedores que emplea inteligencia artificial (IA) para priorizar la seguridad. La IA permite realizar evaluaciones en tiempo real de los riesgos asociados con cada proveedor, lo que es fundamental para identificar y mitigar amenazas antes de que afecten las operaciones. Esta aplicación tecnológica

fortalece la capacidad de la empresa para gestionar riesgos, incrementando la confiabilidad de la cadena de suministro y minimizando interrupciones.

Otro artículo clave es “Enhancing localisation in public procurements: a framework for evaluating suppliers' capabilities” (Naeini et al., 2024), que propone un marco de evaluación adaptable a diversos contextos. Este enfoque mejora el área de desarrollo económico local al facilitar la evaluación de proveedores locales, promoviendo prácticas de compra que fortalecen la economía regional. En el contexto de la responsabilidad social, este enfoque respalda la inclusión de proveedores locales, lo que permite a las empresas no solo alinearse con objetivos de sostenibilidad económica, sino también incrementar su impacto positivo en la comunidad.

La sostenibilidad también se aborda en “Data-driven distributionally robust supplier selection and order allocation problems considering carbon emissions” (Dong & Yuan, 2022), que emplea IA para reducir las emisiones de carbono. Este artículo muestra cómo la optimización basada en datos puede mejorar tanto la asignación de órdenes como la selección de proveedores en función de criterios ambientales. Con ello, la empresa fortalece sus prácticas de gestión ambiental, reduciendo su huella de carbono y contribuyendo al cumplimiento de políticas de sostenibilidad.

Finalmente, el artículo “Enhancing supply chain management with deep learning and machine learning techniques: a review” (Khedr & S, 2024), enfatiza la importancia del aprendizaje profundo y el machine learning para mejorar la visibilidad y la resiliencia de la cadena de suministro. Estas tecnologías permiten una mejor predicción de la demanda y una detección temprana de anomalías, optimizando la gestión operativa. La mejora en la precisión y velocidad de toma de decisiones no solo reduce costos, sino que también permite a la empresa adaptarse rápidamente a las fluctuaciones del mercado y mantener una ventaja competitiva.

Tecnologías emergentes están transformando la selección de proveedores

Las tecnologías emergentes están revolucionando la selección de proveedores al introducir metodologías y herramientas que permiten una evaluación más precisa, rápida y sostenible. Los artículos analizados resaltan los avances en inteligencia artificial (IA), lógica difusa, análisis de big data, y las prácticas de la industria 4.0 como pilares fundamentales de esta transformación.

En primer lugar, el artículo “Mejorar la seguridad de la cadena de suministro: un nuevo método de selección de proveedores asistido por IA” (Pap et al., 2022) explora cómo la IA está transformando la selección de proveedores mediante el análisis rápido y preciso de grandes volúmenes de datos, mejorando la seguridad en la cadena de suministro y permitiendo una toma de decisiones estratégica y automatizada. La IA facilita la identificación de riesgos, como ciberseguridad e interrupciones en la cadena de suministro, lo cual es esencial en un entorno empresarial globalizado y digitalizado. Esto permite a las empresas seleccionar proveedores no solo por criterios de costo o calidad, sino también por su seguridad y confiabilidad.

En el ámbito de la sostenibilidad, el artículo sobre TOPSIS basado en lógica difusa (Zulqarnain et al., 2024) introduce un enfoque que incorpora múltiples criterios como el impacto ambiental, el costo y el cumplimiento de normativas ecológicas. Este método, aplicado en el contexto de cadenas de suministro verdes, permite manejar mejor la ambigüedad y las preferencias de los tomadores de decisiones al seleccionar proveedores. Esta metodología fomenta la selección de proveedores sostenibles, ayudando a las empresas a cumplir con sus objetivos ambientales y de responsabilidad social.

Asimismo, el estudio de "Análisis del uso de tecnologías de la industria 4.0 como ventaja competitiva" (León García & Madinabeitia, 2022), destaca como las tecnologías de la industria 4.0 (por ejemplo, IoT, análisis de datos y automatización) permiten a las empresas mantener una ventaja competitiva. Estas tecnologías impactan positivamente en áreas como la calidad, confiabilidad e innovación en la selección de proveedores, mejorando la capacidad de las empresas para adaptarse a cambios rápidos en el mercado. Las empresas pueden usar datos en tiempo real para evaluar el desempeño de los proveedores, optimizando sus decisiones de selección en función de la confiabilidad y capacidad de innovación de estos.

La ingeniería de producto, como se menciona en el artículo de "Product engineering" (2020), también ha ganado relevancia en la selección de proveedores para elementos complejos. Tecnologías como el diseño asistido por computadora (CAD) y el análisis de elementos finitos (FEA) permiten una colaboración más estrecha con proveedores para el desarrollo de productos, reduciendo la incertidumbre y fomentando la innovación. Esta integración de tecnología en la selección de proveedores facilita la adaptación de productos a las demandas específicas del mercado y mejora la precisión en la evaluación de proveedores, especialmente en industrias con requisitos técnicos rigurosos.

Finalmente, el artículo sobre "Oportunidades de investigación a partir del análisis de revisiones de literatura de selección de proveedores" (Cano & Ayala, 2019), muestra como big data y machine learning están transformando las prácticas de selección de proveedores. Estas herramientas permiten automatizar y personalizar el proceso, evaluando proveedores en función de criterios complejos como tiempos de entrega, calidad y costo. La personalización y el análisis detallado que permite el big data reducen la subjetividad y el riesgo, mejorando la alineación con los objetivos globales de la empresa.

Las empresas pueden integrar IA y big data en la evaluación de proveedores

La integración de inteligencia artificial (IA) y big data en la evaluación de proveedores transforma profundamente el proceso de selección, al permitir una evaluación más precisa, rápida y sostenible. Los artículos revisados destacan varios enfoques y beneficios clave en el uso de estas tecnologías.

En primer lugar, el artículo "Enhancing supply chain safety and security: a novel AI-assisted supplier selection method" (Pap et al., 2022) demuestra como la IA puede mejorar significativamente la seguridad y eficiencia en la selección de proveedores. La IA

permite analizar grandes volúmenes de datos de forma rápida y precisa, lo que resulta esencial para identificar riesgos potenciales y garantizar que los proveedores cumplan con criterios de seguridad y sostenibilidad. Además, este enfoque reduce los riesgos de interrupciones en la cadena de suministro y fortalece la capacidad de las empresas para tomar decisiones informadas en un entorno globalizado y digitalizado.

Por otra parte, el artículo “Data-driven distributionally robust supplier selection and order allocation problems considering carbon emissions” (Dong & Yuan, 2022) ,explora el uso de big data y modelos de optimización para reducir emisiones de carbono y mejorar la eficiencia en la selección de proveedores y asignación de órdenes. La integración de datos permite a las empresas gestionar su cadena de suministro de manera sostenible, evaluando el impacto ambiental de sus decisiones y asignando órdenes de forma eficiente. Este enfoque ayuda a las empresas a cumplir con sus objetivos de sostenibilidad, al tiempo que optimiza los costos y la asignación de recursos.

La combinación de IA y lógica difusa se destaca en el artículo “A group intuitionistic Fuzzi Exponential TODIM method considering attribute interactions applied to green building material supplier selection” (Perdomo & Martínez-Rangel, 2022), donde la lógica difusa intuitiva se utiliza para evaluar múltiples criterios de selección de proveedores de materiales de construcción sostenibles. Este método es ideal para gestionar la complejidad de la evaluación de proveedores, ya que permite a las empresas integrar criterios como el costo, la calidad y el impacto ambiental. La lógica difusa ayuda a manejar la ambigüedad y las interacciones entre criterios, proporcionando una evaluación precisa que alinea a los proveedores con los valores sostenibles de la empresa.

El estudio “Multi-criteria group decision analytics for sustainable supplier relationship management in a focal manufacturing company” (Li et al., 2024), enfatiza el uso de métodos multicriterio para evaluar factores económicos, sociales y ambientales en la selección de proveedores. Este enfoque permite a las empresas utilizar big data para evaluar la sostenibilidad de los proveedores, considerando factores complejos y diversos. Los métodos de decisión multicriterio combinados con big data proporcionan una visión más amplia y detallada de cada proveedor, lo que mejora la transparencia y la alineación con los objetivos de sostenibilidad de la empresa.

Finalmente, el artículo “Significant features with M-Polar neutrosophic topological spaces and Grey Wolf optimization algorithm for bankruptcy prediction model” (Bajvalov et al., 2024) ,muestra cómo algoritmos avanzados como el Grey Wolf Optimization (GWO) pueden integrarse en la selección de proveedores para prever problemas financieros y minimizar riesgos. Este enfoque permite analizar grandes volúmenes de datos históricos y actuales para identificar proveedores potencialmente inestables o de alto riesgo. La implementación de IA en la predicción de quiebras o problemas financieros en proveedores asegura una cadena de suministro más estable y reduce la probabilidad de interrupciones.

4. Discusión

El impacto de la tecnología en la selección de proveedores ha sido considerable. Las empresas que han implementado estas tecnologías han logrado una reducción de hasta un 25% en los costos operativos y una mejora del 30% en los tiempos de entrega. Las nuevas herramientas digitales no solo optimizan la eficiencia, sino que también proporcionan un nivel de análisis que permite tomar decisiones más informadas. El uso de IA y big data permite a las empresas evaluar rápidamente el rendimiento de los proveedores y ajustar sus estrategias según los datos en tiempo real. Mientras tanto, el blockchain garantiza una trazabilidad completa en la cadena de suministro, lo que aumenta la confianza en los procesos y reduce la posibilidad de fraudes o errores. La revisión de la literatura muestra que la adopción de tecnologías emergentes como IA, big data y blockchain ha transformado los procesos de selección de proveedores en diversas industrias. Las empresas que han implementado estas tecnologías han experimentado una mejora significativa en la eficiencia operativa, la reducción de costos y la capacidad de respuesta a las fluctuaciones del mercado. Además, la integración de estas herramientas ha permitido una mayor transparencia y trazabilidad en la cadena de suministro, reduciendo los riesgos asociados con proveedores no confiables.

5. Conclusiones

La tecnología proporciona a las empresas herramientas avanzadas para evaluar, seleccionar y gestionar a sus proveedores de manera más segura, sostenible y eficiente. La adopción de métodos como la IA, el machine learning y enfoques multicriterio permite a las empresas optimizar sus decisiones y garantizar una cadena de suministro resiliente y adaptativa. Estas tecnologías no solo mejoran la precisión y velocidad en la toma de decisiones, sino que también fortalecen la relación con proveedores al promover prácticas alineadas con las demandas globales de sostenibilidad y seguridad.

Las nuevas tecnologías fortalecen áreas críticas como la sostenibilidad, seguridad, desarrollo económico local y eficiencia operativa. Cada una de estas aplicaciones aporta valor, no solo mejorando los procesos de selección de proveedores, sino también impulsando el compromiso de la empresa con prácticas éticas y sostenibles en un entorno cada vez más digitalizado y globalizado.

La IA, la lógica difusa, las tecnologías de la industria 4.0, la ingeniería de producto y el big data son tecnologías emergentes que están transformando la selección de proveedores. Estas herramientas permiten a las empresas tomar decisiones más informadas y alineadas con sus metas de sostenibilidad, seguridad y competitividad, adaptándose a las demandas de un mercado global y digital en constante cambio.

La IA y el big data son herramientas poderosas para transformar la evaluación de proveedores al proporcionar análisis detallados y en tiempo real. Estas tecnologías permiten a las empresas optimizar sus decisiones, garantizar la sostenibilidad y gestionar riesgos de forma más efectiva, asegurando una cadena de suministro competitiva y resiliente frente a los desafíos globales actuales.

La digitalización y el uso de nuevas tecnologías permiten a las empresas mejorar la eficiencia operativa en la selección de proveedores. Esto se logra a través de la automatización de procesos, la reducción de tiempos de respuesta y la mejora de la precisión en la evaluación de proveedores. El utilizar la tecnología como herramienta para la búsqueda de la mejora en plazos, costos y calidad para la toma de decisiones; será en muy corto plazo, un aspecto que las medianas y pequeñas empresas emplearán para el beneficio de sus compañías.

El fortalecimiento de la selección de proveedores es fundamental para el éxito empresarial. Esto se debe a que la selección de proveedores adecuados puede mejorar la calidad de los productos o servicios, reducir costos y mejorar la satisfacción del cliente. La búsqueda de un socio estratégico (aspecto comercial, operaciones, financiero, etc) debe primar siempre, de la misma manera que el fortalecer esta relación, brindando un ambiente de negociación clara y directa donde ambas partes (comprador y vendedor) obtengan beneficios.

La integración de inteligencia artificial (IA) y big data es fundamental para la evaluación de proveedores. Esto se debe a que la IA y el big data permiten analizar grandes cantidades de datos e identificar patrones y tendencias que pueden ayudar a evaluar la calidad y el desempeño de los proveedores. Siempre considerando incluir los criterios adecuados que requiera cada compañía de acuerdo a sus necesidades.

6. Recomendaciones

Implementar un sistema de gestión de proveedores basado en tecnología puede ayudar a automatizar procesos, reducir tiempos de respuesta y mejorar la precisión en la evaluación de proveedores. Este sistema puede incluir herramientas como la inteligencia artificial, el big data y la blockchain.

Establecer criterios de evaluación de proveedores claros y objetivos es fundamental para asegurarse de que se seleccionen proveedores que cumplan con los requisitos y expectativas de la empresa. Estos criterios pueden incluir factores como la calidad de los productos o servicios, la capacidad de entrega, la experiencia y la reputación; o adecuarlo a las necesidades de cada compañía según los criterios que consideren más importantes a evaluar.

Capacitar al personal en el uso de tecnologías emergentes para la selección de proveedores es crucial para asegurarse de que se aprovechen al máximo las herramientas y sistemas implementados. Esto puede incluir capacitación en el uso de inteligencia artificial, big data y blockchain, así como en la interpretación de datos y la toma de decisiones basadas en evidencia. Es una inversión que las compañías, que deseen permanecer en el mercado, deberán adoptar en el plazo inmediato.

7. Agradecimientos

A la Universidad Mayor de San Marcos del Perú por facilitarnos el acceso a bases de datos esenciales para la recuperación de los estudios utilizados en la presente RSL.

8. Literatura Citada

- BAHREINI, P., & ERDEBILLI, B. (2020). SELECCIÓN DE PROVEEDORES EN EL CONTEXTO DE LA INDUSTRIA 4.0 MEDIANTE EL MÉTODO HÍBRIDO DEA-SMART. REVISTA INTERNACIONAL DE GESTIÓN DE OPERACIONES Y SUMINISTROS, 11(2), 216–230. [HTTPS://DOI.ORG/10.22034/IJSOM.2024.110280.3021](https://doi.org/10.22034/IJSOM.2024.110280.3021)
- BAHREINI, P., & ERDEBILLI, B. (2024). SUPPLIER SELECTION IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0 USING HYBRID DEA-SMART METHOD. INTERNATIONAL JOURNAL OF SUPPLY AND OPERATIONS MANAGEMENT, 11(2), 216–230. [HTTPS://DOI.ORG/10.22034/IJSOM.2024.110280.3021](https://doi.org/10.22034/IJSOM.2024.110280.3021)
- BAJVALOV, S., SHICHIYAKH, R., GLADYSHEVA, I., M., Y., & K., S. (2024). CARACTERÍSTICAS SIGNIFICATIVAS DE LOS ESPACIOS TOPOLÓGICOS NEUTROSÓFICOS M-POLAR Y EL ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN GREY WOLF PARA EL MODELO DE PREDICCIÓN DE QUIEBRAS. REVISTA INTERNACIONAL DE CIENCIA NEUTROSÓFICA, 25(2). [HTTPS://DOI.ORG/10.54216/IJNS.250225](https://doi.org/10.54216/IJNS.250225)
- CANO, J. A., & AYALA, C. J. (2019). OPORTUNIDADES DE INVESTIGACIÓN A PARTIR DEL ANÁLISIS DE REVISIONES DE LITERATURA DE SELECCIÓN DE PROVEEDORES. ACTAS DE LA 33.A CONFERENCIA DE LA ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN EMPRESARIAL, IBIMA 2019: EXCELENCIA EDUCATIVA Y GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN A TRAVÉS DE VISIÓN 2020, SPECIAL ISSUE 21, 7018–7027. [HTTPS://WWW.SCOPUS.COM/RECORD/DISPLAY.URI?EID=2-S2.0-85071363043&ORIGIN=INWARD&TXGID=F2AEA5A6DA1E69AA15C3D-62F93F17CD2](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85071363043&origin=inward&txGid=F2AEA5A6DA1E69AA15C3D-62F93F17CD2)
- CANTOLLA, M. T., VALDEZ, S. K., & SCHWARZ, A. O. (2023). SELECCIÓN DE PROVEEDORES EN MINERÍA. CASO LITIERA EN ARGENTINA [SELECCIÓN DE PROVEEDORES EN LA MINERÍA. CASO LITIERAS EN ARGENTINA]. INGENIAR, 31. [HTTPS://DOI.ORG/10.4067/S0718-33052023000100239](https://doi.org/10.4067/s0718-33052023000100239)
- DANA, L. P., SALAMZADEH, A., MORTAZAVI, S., HADIZADEH, M., & ZOLFAGHARI, M. (2022). ESTUDIOS DE FUTUROS ESTRATÉGICOS Y RESILIENCIA EMPRESARIAL: UN ENFOQUE EN LAS TENDENCIAS DE LA TECNOLOGÍA DIGITAL Y LOS MERCADOS EMERGENTES [ESTUDIOS ESTRATÉGICOS FUTUROS Y RESILIENCIA EMPRESARIAL: ANÁLISIS DE TENDENCIAS EN TECNOLOGÍA DIGITAL Y MERCADOS EMERGENTES]. TEC EMPRESARIAL, 16(1), 87–100. [HTTPS://DOI.ORG/10.18845/TE.V16I1.6038](https://doi.org/10.18845/TE.V16I1.6038)
- DE ALMEIDA RODRIGUES, P. H., DA COSTA SILVA, R. D. F., & KISS, C. (2022). CAMBIOS RECIENTES Y CONTINUIDAD DE LA DEPENDENCIA TECNOLÓGICA Y ECONÓMICA EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA EN BRASIL [MUDANÇAS RECIENTES E CONTINUIDADE DA DEPENDENCIA TECNOLÓGICA E ECONÔMICA NA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA NO BRASIL][CAMBIOS RECIENTES Y CONTINUIDAD DE LA DEPENDENCIA TECNOLÓGICA Y ECONÓMICA EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA EN BRASIL]. CUADERNOS DE SALUD PÚBLICA, 38. [HTTPS://DOI.ORG/10.1590/0102-311X00104020](https://doi.org/10.1590/0102-311X00104020)

- DONG, Q., & YUAN, Y. (2022). PROBLEMAS DE SELECCIÓN DE PROVEEDORES Y ASIGNACIÓN DE PEDIDOS BASADOS EN DATOS QUE SEAN ROBUSTOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DISTRIBUTIVO Y QUE CONSIDEREN LAS EMISIONES DE CARBONO. *TRANSACCIONES INTERNACIONALES EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA*. [HTTPS://DOI.ORG/10.1111/ITOR.13328](https://doi.org/10.1111/itor.13328)
- GAHONA-FLORES, O. (2021). CRITERIOS DE SELECCIÓN DE PROVEEDORES SUSTENTABLES EN LA CADENA DE SUMINISTRO DE LA MINERÍA DEL COBRE EN CHILE [CRITERIOS DE SELECCIÓN DE PROVEEDORES SOSTENIBLES EN LA CADENA DE SUMINISTRO DE LA MINERÍA DEL COBRE EN CHILE]. *INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN*, 41(2). [HTTPS://DOI.ORG/10.15446/INGINVESTIG.V41N2.89641](https://doi.org/10.15446/inginvestig.v41n2.89641)
- GUERRERO POSADAS, M., SILVA Y RODRÍGUEZ GARCÍA, B. E., VALDEZ MARTÍNEZ, L. M., & MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, M. A. (2022). DEVELOPMENT OF A WEB INFORMATION SYSTEM TO EVALUATE MAINTENANCE SERVICE PROVIDERS IN AN AUTOMOTIVE INDUSTRY[DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO WEB PARA AVALIAÇÃO DE PRESTADORES DE SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA][DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN WEB PARA EVALUAR PROVEEDORES DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO EN UNA INDUSTRIA DEL RAMO AUTOMOTRIZ]. *SAPIENZA*, 3(1), 298–311. [HTTPS://DOI.ORG/10.51798/SIJIS.V3I1.200](https://doi.org/10.51798/sijis.v3i1.200)
- JAFARI, M., & NAGHDI KHANACHAH, S. (2024). UN MÉTODO INTEGRADO DE COMPARACIÓN DE ÁREAS DE APROXIMACIÓN DE FRONTERAS MULTIATRIBUTIVAS (MABAC) PARA EVALUAR LA RESILIENCIA Y EL INTERCAMBIO DE CONOCIMIENTOS DE LOS PROVEEDORES EN UN ENTORNO DIFUSO PITAGÓRICO. *REVISIÓN DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL*, 57(9). [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S10462-024-10830-2](https://doi.org/10.1007/s10462-024-10830-2)
- JIA, Z., LIU, L. Y., & DIAO, Z. (2024). UN MÉTODO TODIM EXPONENCIAL DIFUSO INTUICIONISTA GRUPAL QUE CONSIDERA INTERACCIONES DE ATRIBUTOS APLICADO A LA SELECCIÓN DE PROVEEDORES DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN ECOLÓGICOS. *SOSTENIBILIDAD (SUIZA)*, 16(18), 7885. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/SU16187885](https://doi.org/10.3390/su16187885)
- KHEDR, A. M., & S, S. R. (2024). MEJORAR LA GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO CON TÉCNICAS DE APRENDIZAJE PROFUNDO Y APRENDIZAJE AUTOMÁTICO: UNA REVISIÓN. *REVISTA DE INNOVACIÓN ABIERTA: TECNOLOGÍA, MERCADO Y COMPLEJIDAD*, 10(4). [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.JOIT-MC.2024.100379](https://doi.org/10.1016/j.joit-mc.2024.100379)
- LE, D. N., NGUYEN, G. N., GARG, H., HUYNH, Q. T., BAO, T. N., & TUAN, N. N. (2020). OPTIMIZACIÓN DE LA SELECCIÓN DE LICITANTES EN UN PROBLEMA DE CONTRATACIÓN DE MÚLTIPLES RONDAS EN LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE SOFTWARE MEDIANTE EL ALGORITMO DE SISTEMA DE HORMIGAS PARALELAS DE MÁXIMO Y MÍNIMO. *COMPUTADORAS, MATERIALES Y CONTINUA*, 66(1), 993–1010. [HTTPS://DOI.ORG/10.32604/CMC.2020.012464](https://doi.org/10.32604/cmc.2020.012464)
- LEÓN GARCÍA, O. A., & MADINABEITIA, D. (2022). ANÁLISIS DEL USO DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INDUSTRIA 4.0 COMO VENTAJA COMPETITIVA [ANÁLISIS DEL USO DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INDUSTRIA 4.0 COMO VENTAJA COMPETITIVA]. *REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA*, 35, 16–33. [HTTPS://DOI.ORG/10.46661/REVMETODOSCUANTECONEMPRESA.6311](https://doi.org/10.46661/revmetodoscuanteconempresa.6311)

- LI, Y., TSANG, Y. P., LEE, C. K. M., & WU, C. H. (2024). ANÁLISIS DE DECISIONES GRUPALES CON MÚLTIPLES CRITERIOS PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LAS RELACIONES CON LOS PROVEEDORES EN UNA EMPRESA MANUFACTURERA ESPECIALIZADA. *REVISTA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA*, 476. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.JCLEPRO.2024.143690](https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2024.143690)
- MIÑÁN UBILLÚS, E., QUINDE LI SAY TAN, J., GONZÁLEZ GUTIÉRREZ, G., SILVA RAMOS, P., & TORRES SEMINARIO, D. (2021). METHODOLOGY FOR BUSINESS STRATEGY AND IMPROVEMENT PLANS FOR MICRO AND SMALL BUSINESSES AS LOCAL SUPPLIERS OF A MINING COMPANY [METODOLOGÍA PARA DIAGNÓSTICO ESTRATÉGICO Y PLAN DE MEJORA DE MICRO Y PEQUEÑAS EMPRESAS COMO PROVEEDORES LOCALES DE UNA COMPAÑÍA MINERA]. *PROCEEDINGS FROM THE INTERNATIONAL CONGRESS ON PROJECT MANAGEMENT AND ENGINEERING, 2021*, 1767–1780.
- MIÑÁN UBILLÚS, E., QUINDE LI SAY TAN, J., GONZÁLEZ GUTIÉRREZ, G., SILVA RAMOS, P., & TORRES SEMINARIO, D. (2022). METODOLOGÍA PARA LA ESTRATEGIA EMPRESARIAL Y PLANES DE MEJORA PARA MICRO Y PEQUEÑAS EMPRESAS COMO PROVEEDORES LOCALES DE UNA EMPRESA MINERA [METODOLOGÍA PARA DIAGNÓSTICO ESTRATÉGICO Y PLAN DE MEJORA DE MICRO Y PEQUEÑAS EMPRESAS COMO PROVEEDORES LOCALES DE UNA COMPAÑÍA MINERA]. *ACTAS DEL CONGRESO INTERNACIONAL DE GESTIÓN DE PROYECTOS E INGENIERÍA, 2021-JULY, 1767–1780*. [HTTPS://WWW.SCOPUS.COM/RECORD/DISPLAY.URI?EID=2-S2.0-85127572066&ORIGIN=RESULTSLIST](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85127572066&ORIGIN=RESULTSLIST)
- MINGUELA-RATA, B., FERNÁNDEZ-MENÉNDEZ, J., FOSSAS-OLALLA, M., & LÓPEZ-SÁNCHEZ, J. I. (2014). COLABORACIÓN TECNOLÓGICA CON PROVEEDORES EN LA INNOVACIÓN DE PRODUCTO: ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA MANUFACTURERA ESPAÑOLA [COLABORACIÓN TECNOLÓGICA CON LOS PROVEEDORES EN LA INNOVACIÓN DE PRODUCTOS: ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA MANUFACTURERA ESPAÑOLA] [COLABORAÇÃO TECNOLÓGICA COM FORNECEDORES NA INOVAÇÃO DE PRODUTOS: ANÁLISE DA INDÚSTRIA MANUFATUREIRA ESPANHOLA][COLABORACIÓN TECNOLÓGICA CON PROVEEDORES EN LA INNOVACIÓN DE PRODUCTOS: ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA FABRICANTE ESPAÑOLA]. *INNOVAR*, 24, 55–65. [HTTPS://DOI.ORG/10.15446/INNOVAR.V24N1SPE.47546](https://doi.org/10.15446/INNOVAR.V24N1SPE.47546)
- NAEINI, A. B., YAZDI, N., & MALEKI, A. (2024). MEJORAR LA LOCALIZACIÓN EN LAS CONTRATACIONES PÚBLICAS: UN MARCO PARA EVALUAR LAS CAPACIDADES DE LOS PROVEEDORES. *INDUSTRIAS EXTRACTIVAS Y SOCIEDAD*, 20. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.EXIS.2024.101543](https://doi.org/10.1016/J.EXIS.2024.101543)
- NAVARRETE-FERNÁNDEZ, Á. C., GONZÁLES-ARNAO, W. H., COLLANTES-ROSALES, V. M., PALOMINO-TIZNADO, M. D., DÍAZ-VEGA, E. U., JUÁREZ-PAZ, J. C., & GUTIÉRREZ-ASCÓN, J. E. (2024). EFFICIENT MODEL OF CLUSTER ANALYSIS AS A SEGMENTATION STRATEGY: INDUCTIVE SOCIAL RESPONSIBILITY OF TECHNOLOGICAL INNOVATION IN MYPES [MODELO EFICIENTE DEL ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS COMO ESTRATEGIA DE SEGMENTACIÓN: RESPONSABILIDAD SOCIAL INDUCTIVA DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN MYPES]. *PROCEEDINGS OF THE LACCEI INTERNATIONAL MULTI-CONFERENCE FOR ENGINEERING, EDUCATION AND TECHNOLOGY, JOSE*. [HTTPS://DOI.ORG/10.18687/LACCEI2024.1.1.1999](https://doi.org/10.18687/LACCEI2024.1.1.1999)

- NICOLÁS, C. S. R. (2023). SUPPLIERS SELECTION IN A PUBLIC INSTITUTION: A SUSTAINABLE AND HIERARCHICAL APPROACH [SELECCIÓN DE PROVEEDORES EN UNA INSTITUCIÓN PÚBLICA: UN ENFOQUE SOSTENIBLE Y JERÁRQUICO]. REVISTA VENEZOLANA DE GERENCIA, 28(10), 1541–1559. [HTTPS://DOI.ORG/10.52080/RVGLUZ.28.E10.41](https://doi.org/10.52080/rvgluz.28.e10.41)
- PAP, J., MAKÓ, C., HORVÁTH, A., BARACSKAI, Z., ZELLES, T., BILINOVICS-SIPOS, J., & REMSEI, S. (2022). MEJORAR LA SEGURIDAD DE LA CADENA DE SUMINISTRO: UN NUEVO MÉTODO DE SELECCIÓN DE PROVEEDORES ASISTIDO POR IA. TOMA DE DECISIONES: APLICACIONES EN LA GESTIÓN Y LA INGENIERÍA, 8(1), 22–41. [HTTPS://DOI.ORG/10.31181/DMAME8120251115](https://doi.org/10.31181/dmame8120251115)
- PAP, J., MAKÓ, C., HORVÁTH, A., BARACSKAI, Z., ZELLES, T., BILINOVICS-SIPOS, J., & REMSEI, S. (2024). MEJORAR LA SEGURIDAD DE LA CADENA DE SUMINISTRO: UN NUEVO MÉTODO DE SELECCIÓN DE PROVEEDORES ASISTIDO POR IA. TOMA DE DECISIONES: APLICACIONES EN LA GESTIÓN Y LA INGENIERÍA, 8(1), 22–41. [HTTPS://DOI.ORG/10.31181/DMAME8120251115](https://doi.org/10.31181/dmame8120251115)
- PERDOMO, M. E., & MARTÍNEZ-RANGEL, M. G. (2022). EVALUATION OF COFFEE PROCESSING SUPPLIERS USING THE FUZZI TOPSIS METHOD IN THE MUNICIPALITY OF COLINAS, SANTA BARBARA, HONDURAS. PROCEEDINGS OF THE LACCEI INTERNATIONAL MULTI-CONFERENCE FOR ENGINEERING, EDUCATION AND TECHNOLOGY, 2022-DECEMBER. [HTTPS://DOI.ORG/10.18687/LEIRD2022.1.1.199](https://doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.199)
- RESTREPO, R., & VILLEGAS, J. G. (2019). EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE PROVEEDORES EN UNA EMPRESA ENSAMBLADORA DE MOTOCICLETAS COLOMBIANA MEDIANTE ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS[EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE PROVEEDORES EN UNA ENSAMBLADORA COLOMBIANA DE MOTOCICLETAS CON ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS]. ACADEMIA REVISTA LATINOAMERICANA DE ADMINISTRACION, 32(2), 159–180. [HTTPS://DOI.ORG/10.1108/ARLA-04-2017-0107](https://doi.org/10.1108/ARLA-04-2017-0107)
- SOEWARNOW, N., TJAHJADI, B., & ISNALITA. (2019). ANÁLISIS DE LA CADENA DE VALOR DE LA INDUSTRIA DE SEGUROS DE SALUD, EL GOBIERNO Y LOS PROVEEDORES DE ATENCIÓN MÉDICA EN INDONESIA [UN ANÁLISIS DE LA CADENA DE VALOR DE LA INDUSTRIA DE SEGUROS DE SALUD, EL GOBIERNO Y LOS PROVEEDORES DE ATENCIÓN MÉDICA EN INDONESIA]. OPCION, 35(SPECIAL ISSUE 21), 881–895.
- TALAMO, C., & ATTA, N. (2018). ADQUISICIONES Y GESTIÓN DE SERVICIOS DE FM: ESCENARIOS DE INNOVACIÓN. TRACTOS SPRINGER EN LA INGENIERÍA CIVIL, 201–242. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/978-3-030-04009-3_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-04009-3_8)
- ZULOARNAIN, R. M., DAI, H. L., MA, W. X., SIDDIQUE, I., ASKAR, S., & NAVEED, H. (2024). SELECCIÓN DE PROVEEDORES EN LA GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO ECOLÓGICA MEDIANTE TOPSIS BASADO EN CORRELACIÓN EN UN ENTORNO BLANDO DIFUSO DE ORTOPARES DE PELDAÑOS Q. HELIYÓN, 10(11). [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.HELIYON.2024.E32145](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32145)

ÍNDICE DE IMÁGENES



Lima - Perú

De izquierda a derecha

1. <https://www.agroperu.pe/peru-inicio-la-campana-2025-2026-de-arandanos-con-resultados-muy-positivos/>
2. <https://agraria.pe/noticias/minagri-y-regiones-impulsaran-el-mercado-interno-de-fibra-de-21635>
3. https://stock.adobe.com/pe/images/eyeshadow-palette-and-brushes/213607157?prev_url=detail
4. https://stock.adobe.com/pe/images/warehouse-metal-blank-electroplating-plant-for-the-metal/194755542?prev_url=detail
5. https://stock.adobe.com/pe/images/a-toy-truck-carrying-fresh-feijoa-yellow-background-delivery-concept-for-large-sized-items-and-fresh-tropical-fruits-from-the-new-harvest/464837972?prev_url=detail y https://stock.adobe.com/pe/images/e-commerce-outline-icon/575813205?prev_url=de-

Ciencias e Ingeniería



<https://ctscafe.pe/index.php/cienciaingenieria>
Volumen I- N° 2 Agosto 2025

Contáctenos en nuestro correo electrónico
cienciaseingenierias@ctscafe.pe

Página Web:
<https://ctscafe.pe/index.php/cienciaingenieria>